

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y  
CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN  
EN CILINDROS DE HORMIGÓN-CASO DE APLICACIÓN LEMSUR-  
EPN.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
MENCION ESTRUCTURAS**

**SANDY MIRELLA LISINTUÑA CORREA**

sandyisintuniacorrea@gmail.com

**DIRECTOR: ING. GERMÁN VINICIO LUNA HERMOSA MBA.**

german.luna@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS TRONCOSO MSc.**

mercedes.villacis@epn.edu.ec

**Quito, Diciembre 2018**

## DECLARACIÓN

Yo, Sandy Mirella Lisintuña Correa, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**SANDY MIRELLA LISINTUÑA CORREA**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Sandy Mirella Lisintuña Correa, bajo mi supervisión.

---

**ING. Germán Luna MBA.**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

**ING. Mercedes Villacis MSc.**

**CODIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios por la vida, por guiar mi camino, por la fortaleza que me ha dado para enfrentar cada circunstancia y permitirme llegar hasta este importante momento en mi vida.

A mis padres Homero y Miriam por ser un pilar fundamental en mi vida, por su apoyo incondicional, confianza y amor; por ser un ejemplo de humildad y trabajo. Por el sacrificio que han hecho día a día para dar un futuro mejor a sus hijos. A mi hermana Erica por su apoyo y confianza incondicional, por ser un ejemplo de superación.

A Laura, Henry, Alexandra, Ronny y Emily por el apoyo y cariño que me han brindado a lo largo de estos años, por ser mi segunda familia.

A mis amigos May, David, Cristian, Mary, Andrea, Will, Erik, Juan, Mayrita y Edwin por brindarme su apoyo y amistad sincera durante estos años de carrera.

A mis tutores Ing. Germán Luna y a la Ing. Mercedes Villacís, por el apoyo y guía brindados en el desarrollo del presente trabajo. A mis amigos del LEMSUR por la disponibilidad y apertura que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser luz y guía en mi camino, por todas las bendiciones recibidas.

A mis padres y hermanos que han sido mi apoyo, guía, ejemplo a seguir y fuente de inspiración para la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
RESUMEN .....	XIX
ABSTRACT .....	XX
PRESENTACIÓN .....	XXI
CAPÍTULO I .....	1
1    INTRODUCCIÓN.....	1
1.1    ANTECEDENTES .....	1
1.1.1    HIPÓTESIS .....	2
1.2    OBJETIVOS .....	2
1.2.1    OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2    OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3    ALCANCE .....	3
1.4    JUSTIFICACIÓN .....	4
1.5    GENERALIDADES .....	5
1.5.1    ROL DE LOS ENSAYOS EN LA SOCIEDAD.....	5
1.5.1.1    Importancia de la realización de ensayos y calibraciones.....	5
1.5.1.2    Principios de la práctica de un laboratorio.....	6
1.5.2    ASPECTOS DE LA VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE ENSAYO.....	7
1.5.2.1    Validación.....	7

1.5.2.2	Casos en los que se debe validar un método.....	8
1.5.2.3	Estrategias para validar un método.....	8
1.5.2.4	Extensión de los estudios de validación.....	9
1.5.2.5	Plan e informe de validación.....	10
1.5.2.6	Herramientas de validación.....	11
1.5.2.7	Requisitos de validación.....	11
1.5.2.8	Pasos de la validación.....	12
1.5.2.9	Procedimiento de validación.....	12
1.5.3	INCERTIDUMBRE.....	14
1.5.3.1	Definición.....	14
1.5.3.2	Expresión general de la incertidumbre.....	15
1.5.3.3	Uso de la incertidumbre.....	16
1.5.4	IMPORTANCIA DE LA ESTADÍSTICA.....	16
1.5.4.1	Aplicación de la Estadística.....	17
1.5.4.2	Investigación Estadística.....	18
CAPÍTULO II .....		19
2	MARCO TEÓRICO.....	19
2.1	HORMIGÓN.....	19
2.1.1	DOSIFICACIÓN.....	19
2.1.1.1	Agregados.....	19
2.1.1.2	Cemento.....	23
2.1.1.3	Agua.....	24
2.1.2	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL HORMIGÓN.....	24
2.2	ESTADÍSTICA BÁSICA.....	25

2.2.1	DEFINICIONES BÁSICAS. ....	25
2.2.2	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS. ....	26
2.2.2.1	Parámetros Estadísticos de Posición. ....	27
2.2.2.1.1	Media ( $\bar{x}$ ). ....	27
2.2.2.1.2	Mediana (Me). ....	28
2.2.2.1.3	Moda (Mo). ....	28
2.2.2.2	Parámetros Estadísticos de Dispersión o Variabilidad. ....	29
2.2.2.2.1	Varianza ( $\sigma^2, s^2$ ). ....	29
2.2.2.2.2	Desviación Estándar ( $\sigma, s$ ). ....	30
2.2.2.2.3	Coefficiente de variación (CV). ....	30
2.2.2.2.4	Recorrido o rango. ....	31
2.2.2.3	Parámetros Estadísticos de Forma. ....	31
2.2.2.3.1	Coefficiente de asimetría (As). ....	32
2.2.2.3.2	Coefficiente de Apuntamiento o curtosis (Ap). ....	33
2.2.3	NIVEL DE CONFIANZA. ....	34
2.2.4	MARGEN DE ERROR. ....	34
2.2.5	INTERVALO DE CONFIANZA (IC). ....	35
2.2.6	DISTRIBUCIÓN NORMAL. ....	36
2.2.7	DISTRIBUCIÓN DE t STUDENT. ....	37
2.3	PARÁMETROS DE VALIDACIÓN. ....	38
2.3.1	SELECTIVIDAD. ....	38
2.3.2	CONFIRMACIÓN DE IDENTIDAD. ....	38
2.3.3	LINEALIDAD. ....	39
2.3.4	SENSIBILIDAD. ....	41



2.3.5	LÍMITE DE DETECCIÓN (LOD).....	42
2.3.6	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN (LOQ).....	42
2.3.7	INTERVALO DE TRABAJO.....	42
2.3.8	EXACTITUD.....	43
2.3.8.1	Veracidad.....	44
2.3.8.1.1	Sesgo.....	45
2.3.8.2	Precisión.....	46
2.3.8.2.1	Repetibilidad.....	46
2.3.8.2.2	Precisión intermedia.....	47
2.3.8.2.3	Reproducibilidad.....	47
2.3.9	ESTABILIDAD.....	48
2.3.10	Robustez.....	48
2.3.11	REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (r&r).....	50
2.3.11.1	Aplicaciones del estudio de repetibilidad y reproducibilidad.....	51
2.3.11.2	Metodología de cálculo de R&R.....	51
2.3.11.2.1	Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad mediante Promedios y Rangos.....	51
2.3.11.2.2	Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad mediante Análisis de Varianza (ANOVA).....	54
2.3.12	PRUEBAS INTERLABORATORIO.....	59
2.3.13	INCERTIDUMBRE.....	60
2.3.13.1	Error e incertidumbre.....	60
2.3.13.1.1	Error aleatorio.....	60
2.3.13.1.2	Error sistemático.....	60

2.3.13.1.3 Diferencia entre Error e Incertidumbre. ....	61
2.3.13.2 Fuentes de Incertidumbre.....	61
2.3.13.3 Incertidumbre estándar.....	62
2.3.13.3.1 Evaluación tipo A de la incertidumbre estándar.....	63
2.3.13.3.2 Evaluación tipo B de la incertidumbre estándar.....	65
2.3.13.4 Incertidumbre estándar combinada. ....	67
2.3.13.5 Incertidumbre Expandida.....	68
2.3.13.6 Expresión de la incertidumbre. ....	70
2.3.13.7 Proceso de Estimación de la Incertidumbre de Medida.....	72
2.3.13.7.1 Etapa 1. ....	72
2.3.13.7.2 Etapa 2. ....	73
2.3.13.7.3 Etapa 3. ....	73
2.3.13.7.4 Etapa 4. ....	74
2.4 PRUEBAS DE SIGNIFICACIÓN.....	74
2.4.1 PRUEBA F. ....	75
2.4.1.1 Metodología de Cálculo.....	75
2.4.2 PRUEBA t de STUDENT.....	76
2.4.2.1 Metodología de Cálculo.....	77
2.4.3 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	79
2.4.3.1 Metodología de Cálculo.....	79
2.5 DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN. ....	82
2.6 ESTADO DEL ARTE. ....	97
CAPÍTULO III .....	102
3 METODOLOGÍA DE ENSAYOS Y RESULTADOS.....	102

3.1	ENSAYOS EN AGREGADOS.....	102
3.1.1	GRANULOMETRÍA.....	102
3.1.1.1	Agregado Fino.....	104
3.1.1.1.1	Resultados Obtenidos.....	104
3.1.1.2	Agregado Grueso.....	106
3.1.1.2.1	Resultados Obtenidos.....	106
3.1.2	DENSIDAD APARENTE.....	108
3.1.2.1	Agregado Fino.....	109
3.1.2.1.1	Resultados Obtenidos.....	109
3.1.2.2	Agregado Grueso.....	110
3.1.2.2.1	Resultados Obtenidos.....	110
3.1.3	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.....	111
3.1.3.1	Agregado Fino.....	111
3.1.3.1.1	Resultados Obtenidos.....	113
3.1.3.2	Agregado Grueso.....	113
3.1.3.2.1	Resultados Obtenidos.....	114
3.1.4	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN.....	115
3.1.4.1	Resultados Obtenidos.....	116
3.1.5	CONTENIDO ORGÁNICO.....	117
3.1.5.1	Resultados Obtenidos.....	118
3.2	ENSAYOS EN CEMENTO.....	118
3.2.1	DENSIDAD REAL.....	119
3.2.1.1	Resultados Obtenidos.....	120
3.2.2	DENSIDAD APARENTE.....	121

3.2.2.1	Resultados Obtenidos. ....	122
3.2.3	CONSISTENCIA NORMAL. ....	122
3.2.3.1	Resultados Obtenidos. ....	124
3.2.4	TIEMPOS DE FRAGUADO. ....	124
3.2.4.1	Resultados Obtenidos. ....	125
3.3	DOSIFICACIÓN.....	126
3.4	ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE ENSAYO . ....	127
3.4.1	ENSAYO DE ASENTAMIENTO. ....	127
3.4.2	MOLDEO DE CILINDROS. ....	128
3.5	ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE. ....	129
3.5.1	RESULTADOS OBTENIDOS. ....	130
CAPÍTULO IV .....		131
4	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS. ....	131
4.1	CÁLCULO DE PARÁMETROS DE VALIDACIÓN. ....	131
4.1.1	INTERVALO DE TRABAJO.....	131
4.1.2	EXACTITUD. ....	131
4.1.2.1	Veracidad. ....	131
4.1.2.2	Precisión.....	131
4.1.3	ROBUSTEZ.....	132
4.1.4	ESTUDIO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD . ....	133
4.1.5	INCERTIDUMBRE.....	135
4.1.5.1	Procedimiento de cálculo de incertidumbre.....	136
4.1.5.1.1	Modelo del sistema de medida.....	136

4.1.5.1.2	Enlistar todas las fuentes de incertidumbre.....	136
4.1.5.1.3	Calcular la Incertidumbre Estándar de las Fuentes.....	137
4.1.5.1.4	Calcular los coeficientes de sensibilidad de Resistencia y Densidad. ....	138
4.1.5.1.5	Calcular la Incertidumbre Estándar Combinada. ....	139
4.1.5.1.6	Calcular la incertidumbre expandida. ....	139
4.1.5.1.7	Notificación de resultados. ....	140
4.1.5.2	Ejemplo de cálculo. ....	140
4.1.5.2.1	Fuentes de incertidumbre de la medición de la fuerza: .....	140
4.1.5.2.2	Medición de dimensiones (Diámetro): .....	141
4.1.5.2.3	Medición de dimensiones (Longitud): .....	142
4.1.5.2.4	Medición de la Masa:.....	143
4.1.5.2.5	Incertidumbre Estándar Combinada ( $u_{f'c}$ ):.....	144
4.1.5.2.6	Incertidumbre Estándar Combinada ( $u_{\delta}$ ): .....	145
4.1.5.2.7	Incertidumbre Expandida.....	146
4.1.5.2.8	Expresión final de resultados. ....	146
4.1.5.3	Resultados obtenidos. ....	147
4.2	APLICACIÓN DE PRUEBAS DE SIGNIFICACIÓN.....	147
4.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS INTERLABORATORIOS. ....	148
4.3.1	ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	149
4.4	COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS PARA LOS PARÁMETROS DE VALIDACIÓN.....	150
4.5	DISEÑO FINAL DEL PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN.....	151

CAPÍTULO V.....	152
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	152
5.1 APORTES DEL PRESENTE TRABAJO.....	152
5.2 CONCLUSIONES.....	152
5.3 RECOMENDACIONES PARA FUTURAS VALIDACIONES.....	155
BIBLIOGRAFÍA.....	156
ANEXOS.....	162

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Definiciones del concepto de validación en ISO 9000, ISO/IEC 17025:2017 Y VIM.....	7
Tabla 2.1 Influencia de los agregados en características y propiedades del hormigón.....	20
Tabla 2.2 Compuestos principales del cemento.....	23
Tabla 2.3 Nomenclatura de parámetros estadísticos.....	27
Tabla 2.4 Esquema del test de Youden y Steiner.....	49
Tabla 2.5 Valores de las constantes K1 y K2.....	54
Tabla 2.6 Análisis de varianza (ANOVA).....	55
Tabla 2.7 Criterios de aceptabilidad del estudio de repetibilidad y reproducibilidad.....	59
Tabla 2.8 Factor de cobertura para una distribución normal.....	70
Tabla 2.9 Factor de cobertura para una distribución triangular.....	70
Tabla 2.10 Factor de cobertura para una distribución rectangular.....	70
Tabla 2.11 Conjunto de datos a comparar.....	76
Tabla 2.12 Grupos y observaciones por grupo.....	79
Tabla 2.13 Sumatoria de las observaciones de cada grupo.....	80
Tabla 2.14 Tabla resumen de cálculos de ANOVA.....	81
Tabla 2.15 Parámetros y rango del procedimiento de ensayo.....	84
Tabla 2.16 Magnitudes y patrones de referencia.....	85
Tabla 2.17 Edades de ensayo y tolerancias admisibles.....	88
Tabla 2.18 Datos registrados y parámetros calculados.....	91

Tabla 2.19 Factor de corrección para la relación L/D.....	91
Tabla 2.20 Precisión de ensayo.....	93
Tabla 2.21 Intervalo de trabajo del método y de la máquina de ensayo.....	95
Tabla 2.22 Diseño de ensayo de robustez.....	96
Tabla 3.1 Serie Módulo de Finura (Duff Abrams).....	103
Tabla 3.2 Análisis granulométrico y requisitos de gradación de agregado fino.....	105
Tabla 3.3 Análisis Granulométrico y requisitos de gradación de agregado grueso.....	107
Tabla 3.4 Resultados de densidad aparente suelta y compactada de agregado fino.....	110
Tabla 3.5 Resultados de densidad aparente suelta y compactada de agregado grueso.....	111
Tabla 3.6 Resultados de peso específico y absorción de agregado fino.....	113
Tabla 3.7 Resultados de peso específico y absorción de agregado grueso.....	115
Tabla 3.8 Resultados de Abrasión de agregado grueso.....	117
Tabla 3.9 Resultados de ensayo de contenido orgánico en agregado fino.....	118
Tabla 3.10 Ensayo para la determinación de la densidad real del cemento.....	119
Tabla 3.11 Resultados del ensayo de densidad real del cemento.....	120
Tabla 3.12 Resultado de ensayo de densidad aparente del cemento.....	122
Tabla 3.13 Resultado del ensayo de consistencia normal.....	124



Tabla 3.14 Resultados del ensayo de tiempos de fraguado.....	125
Tabla 3.15 Propiedades de materiales empleados para la dosificación.....	126
Tabla 3.16 Dosificaciones al peso para las resistencias escogidas. ....	127
Tabla 3.17 Dosificaciones al volumen para las resistencias escogidas. ....	127
Tabla 4.1 Precisión obtenida de los ensayos intralaboratorio. ....	132
Tabla 4.2 Ensayo de robustez por el test de Youden y Steiner.....	132
Tabla 4.3 Condición para determinación de robustez. ....	133
Tabla 4.4 Resultados obtenidos del ensayo de robustez. ....	133
Tabla 4.5 Datos de diámetros medidos en milímetros para estudio R&R. ....	134
Tabla 4.6 Datos de alturas medidas en milímetros para estudio R&R. ....	134
Tabla 4.7 Resultado de estudio R&R para medición de diámetro. ....	135
Tabla 4.8 Resultado de estudio R&R para medición de altura.....	135
Tabla 4.9 Coeficientes de sensibilidad de Resistencia.....	138
Tabla 4.10 Coeficientes de sensibilidad de Densidad.....	139
Tabla 4.11 Resistencia a la compresión del hormigón e incertidumbre asociada. ....	147
Tabla 4.12 Densidad del hormigón e incertidumbre asociada.....	147
Tabla 4.13 Aplicación de prueba de significación en ensayos intralaboratorio. ....	148
Tabla 4.14 Resultados obtenidos en pruebas interlaboratorio realizadas. ....	149
Tabla 4.15 Análisis de varianza y aplicación de pruebas de significación entre laboratorios. ....	150

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Procedimiento de validación de un método.....	14
Figura 2.1 Ubicación de la mina Holcim-Pifo.....	22
Figura 2.2 Resistencia a la compresión del hormigón en función de la edad. ....	25
Figura 2.3 Tipos de asimetrías. ....	32
Figura 2.4 Curtosis de curvas simétricas. ....	34
Figura 2.5 Representación gráfica de la distribución normal.....	36
Figura 2.6 Distribución normal y distribución t.....	38
Figura 2.7 Determinación del rango lineal.....	39
Figura 2.8 Pendientes de rectas de calibración.....	41
Figura 2.9 Definición gráfica de exactitud. ....	44
Figura 2.10 Posibles fuentes de incertidumbre representadas en el diagrama Ishikawa.....	62
Figura 2.11 Distribución rectangular.....	66
Figura 2.12 Distribución triangular.....	67
Figura 2.13 Esquematización del proceso de cálculo de la incertidumbre. ....	72
Figura 2.14 Esquema de los modelos típicos de fractura.....	90
Figura 3.1 Curva granulométrica de agregado fino. ....	105
Figura 3.2 Curva granulométrica de agregado grueso. ....	107

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1 Ensayo de granulometría de Agregado Fino.....	104
Fotografía 3.2 Ensayo de granulometría de agregado grueso.....	106
Fotografía 3.3 Ensayo de densidad aparente de agregado fino.....	109
Fotografía 3.4 Ensayo de densidad aparente de agregado grueso.....	110
Fotografía 3.5 Ensayo de peso específico y absorción de agregado fino. ....	112
Fotografía 3.6 Ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso. ....	114
Fotografía 3.7 Ensayo de Abrasión. ....	116
Fotografía 3.8 Ensayo para la determinación de contenido orgánico en agregado fino.....	118
Fotografía 3.9 Ensayo para la determinación de densidad aparente del cemento.....	121
Fotografía 3.10 Ensayo para la determinación de la consistencia normal del cemento. ....	123
Fotografía 3.11 Ensayo para la determinación de tiempos de fraguado. ....	125

## RESUMEN

El presente trabajo técnico experimental tiene como objetivo proponer un procedimiento a seguir para la validación del método de ensayo de compresión en cilindros de hormigón realizados según la ASTM C39/C39M-18 “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”; presenta también una metodología a seguir para el cálculo de incertidumbre asociada a los resultados obtenidos en dicho ensayo, todo esto en el LEMSUR.

Para dicho propósito se realizaron ensayos experimentales cuyos resultados fueron posteriormente tratados estadísticamente mediante la aplicación de un análisis de varianza (ANOVA) y la aplicación de pruebas de significación (F y T); permitiendo así, analizar parámetros de desempeño del método, tales como, intervalo de trabajo, exactitud, robustez, calidad del sistema de medición e incertidumbre asociada al resultado. Los parámetros de validación analizados fueron escogidos teniendo en cuenta que el ensayo de compresión de cilindros de hormigón es un ensayo destructivo, y considerando que no se dispone de material de referencia que permitiera analizar demás parámetros de validación.

Como resultado de este trabajo se obtuvo que no todos los parámetros de validación seleccionados son aplicables debido a que no se cuenta con material de referencia certificado y tampoco fue posible la realización de pruebas interlaboratorio con laboratorios acreditados que aseguraran la calidad técnica de sus resultados. En base a lo ya expuesto y tomando lo especificado en la ISO 17025:2017 misma que señala que la validación se aplica para métodos no normalizados, se realizó una verificación del método que servirá como guía para mejorar el desempeño del mismo en aplicaciones futuras.

**Palabras clave:** Hormigón, estadística, verificación, validación, incertidumbre.

## ABSTRACT

The present experimental technical work aims to propose a procedure to be followed for the validation of the compression test method in concrete cylinders made according to ASTM C39 / C39M-18 "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens"; also presents a methodology to follow for the calculation of uncertainty associated with the results obtained in said test, all this in the LEMSUR.

For this purpose, experimental tests were carried out whose results were subsequently treated statistically by the application of an analysis of variance (ANOVA) and the application of significance tests (F and T); thus allowing to analyze performance parameters of the method, such as, work interval, accuracy, robustness, quality of the measurement system and uncertainty associated with the result. The validation parameters analyzed were chosen taking into account that the compression test of concrete cylinders is a destructive test, and considering that there is no reference material that would allow analyzing other validation parameters.

As a result of this work, it was obtained that not all the validation parameters selected are applicable because there is no certified reference material and it was not possible to perform interlaboratory tests with accredited laboratories that would ensure the technical quality of their results. Based on what has already been explained and taking what is specified in ISO 17025, which states that the validation is applied for non-standardized methods, a verification of the performance of the method was carried out that will serve as a guide to improve its performance in future applications.

**Keywords:** Concrete, statistics, verification, validation, uncertainty.

## PRESENTACIÓN

Este trabajo experimental se divide en 5 capítulos como se detalla a continuación:

**CAPÍTULO I:** Se presentan aspectos generales del tema a tratar, tales como: introducción, antecedente, hipótesis, objetivos alcance y justificación. Se presenta también generalidades respecto a la validación e incertidumbre en métodos de ensayo.

**CAPÍTULO II:** Se presenta conceptos fundamentales respecto a resistencia a la compresión del hormigón, estadística básica, metodología para la aplicación de pruebas de significación y parámetros de validación, así como, el diseño del procedimiento de validación.

**CAPÍTULO III:** Se describen las propiedades de los agregados utilizados en la elaboración de cilindros de hormigón, así como los ensayos realizados para la obtención de dichas propiedades, se describe también la elaboración de las muestras cilíndricas y el ensayo final de las mismas.

**CAPÍTULO IV:** Se muestran y analizan los resultados obtenidos del análisis estadístico y de la aplicación de pruebas de significación en los resultados obtenidos de los ensayos realizados, y se comprueba el cumplimiento de los objetivos para los parámetros de validación seleccionados.

**CAPÍTULO V:** Finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas del presente trabajo técnico experimental y las recomendaciones que se pueden tomar en cuenta para futuros estudios de validación en el LEMSUR.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES.

El Laboratorio de Ensayo de Materiales, Suelos y Rocas (LEMSUR), cumple un rol importante para la industria de la construcción nacional, realizando más de 50 tipos de ensayos entre ellos los de caracterización física del hormigón, que permiten dar un diagnóstico de la calidad de este importante material empleado para la construcción; con el propósito de seguir aportando al sector de la construcción, se ve la necesidad de lograr la acreditación del laboratorio mediante la validación de los métodos de ensayo empleados, para este caso particular: ensayos físicos de hormigón, específicamente compresión simple en cilindros.

El Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE), siendo el órgano oficial de la acreditación, emplea el proceso de acreditación para laboratorios en base a la norma internacional ISO/IEC 17025:2017, en la que se especifica que para la acreditación de laboratorios de ensayos, como es el caso de LEMSUR, es necesario validar los métodos de ensayo que se aplican con el fin de confirmar que los métodos usados son aptos para el fin previsto (ISO/IEC 17025, 2017).

Este trabajo técnico experimental aborda dos de los temas más importantes relacionados con la calidad de la información generada en un laboratorio: la validación de métodos utilizados, y la forma de expresión de los resultados (Crubellati & Di Risio, 2009), es decir, el cálculo de la incertidumbre en las medidas realizadas en un ensayo, en este contexto, se busca comprobar experimental y estadísticamente que los resultados que se obtienen al realizar ensayos de compresión simple en cilindros en el LEMSUR siguiendo las especificaciones de la ASTM C39/C39M-18 y del procedimiento específico para Ensayo de Compresión de Cilindros, éste último generado en el LEMSUR,

cumplen con criterios de repetibilidad, reproducibilidad, exactitud e intervalo de trabajo y que además la incertidumbre presente en los mismos está dentro de un rango aceptable, confirmando así que la metodología de ensayo permite cumplir con los requisitos particulares del ensayo para un uso específico previsto del mismo.

Establecido este antecedente, se plantea la siguiente hipótesis que se comprobará en la sección de análisis de resultados del presente trabajo experimental:

### **1.1.1 HIPÓTESIS**

El procedimiento de validación de ensayos de compresión simple en cilindros de hormigón, así como el cálculo de la incertidumbre presente en los resultados; propuestos en base a las especificaciones del Servicio de Acreditación Ecuatoriano y la norma ISO/IEC 17025:2017, permitirán validar satisfactoriamente dicho ensayo y garantizar la confiabilidad en los resultados obtenidos en futuros ensayos de este tipo en el LEMSUR.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Proponer un procedimiento de validación de ensayos de compresión de cilindros de hormigón así como el cálculo de incertidumbre presente en los resultados, mediante el ensayo de especímenes y el procesamiento estadístico de los resultados obtenidos, esto para demostrar que el método de ensayo aplicado es adecuado para su propósito, y además, formular recomendaciones tanto para lograr mejoras en el LEMSUR como para la validación de ensayos que se realicen a futuro.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Desarrollar el procedimiento de validación que se propondrá teniendo en cuenta objetivos y parámetros de validación.



- Calcular las propiedades físicas tanto de los agregados como del cemento y elaborar 160 probetas teniendo en cuenta el control de condiciones ambientales que pudieran afectar la homogeneidad de las mismas.
- Ensayar en el LEMSUR un total de 128 probetas elaboradas y previamente curadas controlando parámetros como temperatura, operador, dimensiones, peso, velocidad de carga y condiciones del ambiente; enviar las probetas restantes (32) a dos laboratorios externos para la realización de pruebas interlaboratorios.
- Comprobar el cumplimiento de los objetivos del procedimiento de validación propuesto y calcular la incertidumbre asociada al resultado del ensayo de compresión mediante el procesamiento estadístico de los datos obtenidos en los ensayos realizados.
- Verificar la vialidad del procedimiento propuesto en base a la evidencia obtenida de los ensayos y del procesamiento de datos, así como también, establecer puntos de mejora para elevar el nivel de incertidumbre en los resultados.
- Interpretar y concluir sobre los resultados obtenidos.

### **1.3 ALCANCE**

En el presente trabajo técnico experimental se busca proponer un procedimiento de validación y cálculo de incertidumbre en los resultados, esto para ensayos de compresión simple de cilindros de hormigón en probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura; realizados en el LEMSUR siguiendo las especificaciones de la ASTM C39/C39M-18.

En cuanto a las condiciones de las probetas, éstas serán ensayadas una vez que hayan cumplido la edad de ensayo de 28 días con una tolerancia de  $\pm 20$  horas en base a la norma ASTM C39/C39M-18. El resultado final obtenido del procesamiento estadístico de datos de los ensayos realizados permitirá determinar la vialidad del procedimiento de validación propuesto y el cálculo de

incertidumbre asociada a los resultados del ensayo de compresión simple en cilindros de hormigón.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

La importancia de validar los ensayos físicos del hormigón y de encontrar la incertidumbre presente en los resultados de los mismos se da debido a que éste es uno de los materiales más relevantes en la construcción moderna, el avance de las técnicas de fabricación y el cálculo de las estructuras elaboradas con este material han sido de tal naturaleza que paulatinamente ha venido desplazando a sus predecesores en la mayoría de obras civiles, constituyéndose en un material de vital importancia, principalmente en países latinoamericanos e inclusive en países en los cuales la producción de acero tiene niveles gigantescos (Luna, 2014).

El procedimiento de validación de ensayos que se propuso, es el exigible ya que se lo realizó en base a las especificaciones del Servicio de Acreditación Ecuatoriano y teniendo como guía la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2017 referente a “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayos y de calibración”, cabe recalcar que el procedimiento que se propuso es el primero en su tipo en ser desarrollado, ya que en la actualidad no existen en el país laboratorios que hayan validado ensayos de compresión simple en cilindros de hormigón.

La validación y cálculo de incertidumbre en ensayos de compresión simple en cilindros permitirá al LEMSUR ofrecer al sector de la construcción un diagnóstico confiable de la calidad del hormigón que se use en las futuras obras de infraestructura además de crear una metodología a seguir por otros laboratorios que deseen validar ensayos de compresión simple en cilindros de hormigón, permitirá además al laboratorio aumentar su propia confianza en los resultados que se obtengan en dicho ensayo, y ofrecer así información cada vez de mayor calidad a los clientes externos e internos.

El presente trabajo constituye un aporte importante para la formación profesional ya que, cabe recalcar, en la formación académica normal como estudiantes no se

contempla el tema de estudio como parte de la malla curricular, otro aporte importante del presente trabajo técnico experimental es que permite llevar a cabo el control de calidad del hormigón en cuanto a resistencia a compresión simple.

## **1.5 GENERALIDADES**

### **1.5.1 ROL DE LOS ENSAYOS EN LA SOCIEDAD.**

#### **1.5.1.1 Importancia de la realización de ensayos y calibraciones.**

Todos los aspectos de la sociedad están de algún modo, respaldados o apoyados en ensayos y mediciones, y éstos a su vez por calibraciones que aseguran que los instrumentos y equipos usados para dichos ensayos y mediciones funcionan adecuadamente (SAE, 2017).

En la actualidad, alrededor del mundo se realizan millones de ensayos, mediciones y determinaciones analíticas, obteniéndose así datos acerca de diferentes matrices y materiales: alimentos, textiles, materiales de construcción, etc. Los valores obtenidos son importantes para el comercio y también se relacionan con la vida y salud de la humanidad: calidad del agua, del aire, del suelo, de materiales de la construcción, procesos de contaminación, protección general del medio ambiente, investigaciones criminales en análisis forenses y muchos otros ejemplos (Eurachem, 2016).

Esto implica determinaciones costosas, no sólo por la realización de dichos ensayos, mediciones o análisis en sí, sino por las decisiones que se toman basadas en los resultados obtenidos. Es así como, un pequeño error en el contenido de una sustancia en un determinado producto puede originar cuantiosas pérdidas y en lo referente a la protección de la salud, el medio ambiente y seguridad humana, los errores pueden ser de tal magnitud como para poner en peligro la vida de las personas (Crubellati & Di Risio, 2009).

Razón por la cual, en todo el mundo, surge una creciente inquietud acerca de cómo son realizados los ensayos, mediciones y determinaciones analíticas; esto ha llevado a realizar cada vez mayores esfuerzos para no sólo asegurar la realización correcta de los mismos, sino también para demostrar que los resultados obtenidos son confiables y que cumplen con los requisitos particulares

para un uso específico previsto, esto se llama validación de métodos. Por otro lado, si el resultado de un análisis no genera confianza, entonces tiene poco valor y el análisis puede mejor no llevarse a cabo (Crubellati & Di Risio, 2009; Eurachem, 2016).

#### **1.5.1.2 Principios de la práctica de un laboratorio.**

Según el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE), los seis principios de la práctica de un laboratorio son:

1. Los ensayos/calibraciones deben realizarse para satisfacer un requisito acordado, es decir, con un objetivo definido.
2. Las mediciones analíticas deben realizarse utilizando métodos y equipos que han sido probados para asegurar que son adecuados a su propósito.
3. El personal que realiza las mediciones analíticas debe ser calificado y competente para emprender la tarea asignada, y demostrar que pueden desarrollar el análisis apropiadamente.
4. Deberá existir una evaluación periódica e independiente del desempeño técnico de un laboratorio.
5. Las mediciones hechas en un laboratorio deben ser consistentes con aquellas que se realicen en cualquier otro laboratorio.
6. Los laboratorios deben tener procedimientos bien definidos de control y de aseguramiento de calidad.

Una actividad importante que el laboratorio debe realizar, siempre que le sea posible, es la de ofrecer asesoramiento al cliente sobre la toma de muestras como parte de su atención al cliente, esto debido a que, como bien se sabe, un ensayo puede ser realizado sólo si éstas son adecuadas. La toma de muestras es un trabajo especializado que requiere la comprensión del problema, y en las ocasiones en las que el laboratorio no pueda realizar o influir en la toma de las muestras, los resultados de los ensayos deben ser reportados recalcando esta situación (Eurachem, 2016).

## 1.5.2 ASPECTOS DE LA VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE ENSAYO.

### 1.5.2.1 Validación.

En la Tabla 1.1 se incluyen las definiciones de validación de tres documentos internacionales.

**Tabla 1.1 Definiciones del concepto de validación en ISO 9000, ISO/IEC 17025:2017 Y VIM.**

Referencia	Definición
ISO 9000 <sup>a</sup>	Confirmación, a través de la aportación de evidencia objetiva, de que se han cumplido los requisitos para un uso o aplicación específico previsto.
ISO/IEC 17025:2017	Confirmación, a través del examen y aportación de evidencia objetiva, de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico previsto.
VIM <sup>b</sup>	Verificación, donde los requisitos especificados son adecuados para un uso previsto.
<sup>a</sup> ISO 9000 define 'proceso de calificación', como "el proceso para demostrar la capacidad de cumplir los requisitos especificados".	
<sup>b</sup> VIM define 'verificación' como "aportación de evidencia objetiva de que un elemento dado satisface los requisitos especificados".	

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

FUENTE: Eurachem (2016).

Como se puede observar en la tabla anterior, las definiciones de validación según los tres documentos internacionales consultados son similares entre sí, sin embargo, la definición que se adoptará es la de la norma ISO/IEC 17025:2017 la cual define a la validación como *“Confirmación mediante examen y suministro de evidencia objetiva de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico previsto”*. En otras palabras, validar consiste en confirmar mediante evidencia objetiva que una metodología de ensayo seguida en un laboratorio cumple con requisitos particulares del mismo y permiten cumplir con los objetivos de dicho ensayo.

Si bien, el objetivo general de realizar la validación de un método es el de demostrar que éste es ‘adecuado al uso previsto’, es importante reconocer los

beneficios para el laboratorio que proporciona la realización de este estudio de validación. Proporciona un amplio conocimiento y experiencia en detalles prácticos para desarrollar el método, incluyendo el conocimiento de las etapas críticas del proceso. Adicionalmente, el estudio de validación proporciona al laboratorio y a sus empleados mayor confianza en los resultados obtenidos (Eurachem, 2016).

#### **1.5.2.2 Casos en los que se debe validar un método.**

Según la Norma ISO/IEC 17025:2017, el laboratorio debe validar:

- métodos normalizados (según la norma);
- métodos no normalizados;
- métodos diseñados/desarrollados por el laboratorio;
- métodos normalizados usados fuera de su ámbito de aplicación;
- ampliaciones o modificaciones de métodos normalizados.

Otra circunstancia en la que es necesario validar un método es cuando se requiere demostrar la equivalencia entre dos métodos mediante la comparación de los resultados obtenidos en cada uno, por ejemplo, un método recientemente desarrollado y un método normalizado existente.

Según la guía Eurachem (2016), los métodos normalizados publicados por normas como las ISO o ASTM no necesitan ser validados, sin embargo, el laboratorio necesita verificar el desempeño del método como se detalla en la norma ISO/IEC 17025:2017 apartado 5.4.2: *“El laboratorio debe confirmar que puede operar adecuadamente los métodos normalizados antes de introducir los ensayos o calibraciones”*.

#### **1.5.2.3 Estrategias para validar un método.**

Una vez finalizado y documentado el método a ser validado, existen dos estrategias fundamentales para la validación formal del método según la guía Eurachem (2016), estos son; el uso de resultados interlaboratorios y la validación del laboratorio individual.

- Validación a partir de resultados interlaboratorios.

Las comparaciones de resultados interlaboratorios, denominadas también como estudios colaborativos o estudios cooperativos; son un tipo de validación de métodos. Existe un sin número de documentos relacionados con este tipo de validación, tales como: CLSI, 2005; AOAC, 2002; ASTM E1601-12 2012; CEN/TR 10345, 2013; ISO 5725.

La validación interlaboratorio es recomendable para aquellos métodos desarrollados a partir de un método normalizado disponible, este tipo de validación proporciona gran robustez al método validado.

- Validación a partir de datos individuales del laboratorio.

Para aquellos métodos desarrollados por un laboratorio y que no están basados en ninguna norma, el tipo de validación a partir de datos individuales del laboratorio es el más recomendado.

Los métodos validados por este tipo de validación serán aceptables con fines regulatorios dependiendo de las directrices que cubre el área de medición afectada.

#### **1.5.2.4 Extensión de los estudios de validación.**

La amplitud del estudio de validación de un método dependerá de la aplicación del método y el alcance, dependerá también de la aplicación adicionalmente, de la naturaleza de los cambios realizados y de las circunstancias en las que el método será utilizado (Eurachem, 2016).

El laboratorio debe definir cuáles son las características de desempeño ó parámetros de validación que deben ser analizados, así como el nivel de detalle de cada una para validar el método. Según el protocolo IUPAC, para definir dichas características, se debe tener en cuenta, entre otras cosas, el estado del método y la competencia técnica del laboratorio.

Una cuidadosa descripción analítica del alcance del procedimiento de ensayo documentado proporciona una base adecuada para la planificación del proceso de validación, sin embargo en ocasiones, la evaluación del desempeño del método (validación) puede verse limitada por aspectos como: costos, riesgos y posibilidades técnicas (Eurachem, 2016). En este contexto, la ISO/IEC

17025:2017 menciona en su apartado 5.4.5.3 que la validación siempre debe ser un equilibrio entre los tres aspectos ya mencionados.

El laboratorio debe llevar a cabo el proceso de validación de la mejor manera posible, teniendo en cuenta las limitaciones impuestas, los requisitos legales y de clientes, las experiencias y herramientas de validación disponibles, y la necesidad de compatibilidad metrológica con otros métodos similares en uso dentro o fuera del laboratorio.

Si el método a ser validado no es o no va ser utilizado de forma rutinaria por el laboratorio, las implicaciones de las limitaciones mencionadas suelen ser especialmente críticas ya que no es fácil determinar un equilibrio entre limitaciones de tiempo, costes y la necesidad de validar el método. En este caso, subcontratar los ensayos a laboratorios que si los realicen de forma rutinaria es lo más conveniente (Eurachem, 2016).

#### **1.5.2.5 Plan e informe de validación.**

Los requisitos mínimos para la documentación referente al plan de validación y el informe de validación son establecidos por las Entidades Nacionales de Acreditación (Eurachem, 2016), es así como, el SAE establece los siguientes puntos para la realización del informe de validación:

- Objetivo y alcance del método.
- Ítem a ensayar.
- Detalle de insumos, reactivos, materiales de referencia y acondicionamiento de las muestras.
- Lista de equipos, instrumentos y dispositivos.
- Parámetros de validación con sus resultados.
- Registro de las condiciones de los ensayos y gráficos representativos de curva de calibración, registro de correlación y cálculos necesarios.
- Incertidumbres de las mediciones.
- Resultados obtenidos.
- Personas que desarrollan la validación del método.
- Conclusiones, criterios de aceptación o rechazo, criterios de revalidación.



### **1.5.2.6 Herramientas de validación.**

Las herramientas de validación permitirán al laboratorio llevar a cabo la validación del método, según la Eurachem (2016), éstas pueden ser:

- Blancos.- Comúnmente usados para análisis químicos, pueden ser blancos de reactivos o blancos de muestras.
- Muestras de rutina.- Son útiles ya que proporcionan información sobre precisión, interferencias, etc., que pueden aparecer durante el trabajo diario.
- Patrones de medida.- Un patrón de medida es todo aquello en lo cual ha sido caracterizado un parámetro o propiedad particular y que puede emplearse como referencia metrológica.
- Estadística.- Es una importante herramienta de validación que permite agrupar los datos obtenidos y realizar un análisis objetivo de las diferencias entre conjuntos de datos, es decir, aplicar pruebas de significación al conjunto de datos. Es importante que los analistas se familiaricen con los elementos básicos de la teoría estadística como ayuda para la evaluación de la precisión, sesgo, rango lineal, límite de detección (LOD), límite de cuantificación (LOQ) e incertidumbre de medida.

### **1.5.2.7 Requisitos de validación.**

Los requisitos de validación de un método deben estar especificadas en las guías de validación locales y se recomienda seguirlos en caso de existir, para así asegurar que tanto la terminología como la estadística empleada se interpreten y apliquen de manera consistente para el sector en particular (Eurachem, 2016).

Para el desarrollo del presente trabajo experimental, se tomó como principal referencia la norma internacional ISO/IEC 17025:2017 referente a “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de prueba y calibración”, los requisitos presentados en esta norma permiten a los laboratorios de ensayos y calibraciones implementar un sistema de calidad para garantizar que tienen la capacidad de generar resultados válidos y confiables.

### **1.5.2.8 Pasos de la validación.**

Según el SAE (2017), existen tres pasos claves para la validación de un procedimiento, estos son:

#### 1. Establecimiento de las condiciones por cumplir.

Las condiciones a cumplir en la validación de un procedimiento están determinadas por los objetivos fijados que son establecidos por el cliente o por el laboratorista responsable del ensayo, esto debe realizarse de manera confiable y científica teniendo en cuenta la bibliografía disponible.

#### 2. Determinación de los parámetros estadísticos del procedimiento.

La determinación de parámetros estadísticos que van a ser empleados en la validación permiten el procesamiento estadístico de los datos, para posteriormente comparar los resultados obtenidos con los objetivos fijados.

#### 3. Valoración de los resultados de la validación.

Se comparan los resultados obtenidos con los objetivos fijados para finalmente determinar la aceptación o las correcciones necesarias en el proceso de validación.

### **1.5.2.9 Procedimiento de validación.**

A continuación se resume el proceso de validación establecido por el SAE (2017):

#### 1. Establecer la necesidad analítica.

Ante una necesidad particular de un cliente, la autoridad del laboratorio debe establecer en primer lugar el requisito analítico que define las características de desempeño que el método debe cumplir para resolver la necesidad.

#### 2. Método.

El laboratorio debe realizar una revisión de los métodos disponibles e identificar el más adecuado, o si es necesario desarrollar o modificar un método que permita resolver la necesidad analítica en cuestión.

#### 3. Borrador del procedimiento.

Una vez identificado el método más adecuado, se realiza un borrador del procedimiento del mismo teniendo en cuenta los aspectos formales del contenido.

4. Puesta a punto.

Se ajustan y se afinan las distintas variables del método, se realizan pruebas tomando en cuenta los diversos parámetros de validación.

5. Elección de los parámetros de validación.

El laboratorio debe definir cuáles son los parámetros de validación que serán analizados, así como, el grado de detalle en el estudio de cada uno para validar el método, esto teniendo en cuenta las guías aplicables y la experiencia obtenida en la puesta a punto.

6. Fijación de objetivos para los parámetros de validación.

Se fijan los objetivos para los parámetros de validación elegidos teniendo en cuenta la bibliografía disponible y la experiencia obtenida en la puesta a punto.

7. Diseño experimental y estadístico.

Se realiza el diseño experimental y estadístico para la obtención de los parámetros de validación elegidos, siguiendo el borrador del procedimiento.

8. Realización de los ensayos diseñados.

Se realizan los ensayos detallados en el borrador del procedimiento y se registra toda la información obtenida.

9. Tratamiento estadístico de los datos obtenidos.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos, se realiza el procesamiento estadístico de los mismos para posteriormente verificar el cumplimiento de los objetivos predefinidos y, en caso de no cumplirse, se repite este proceso de desarrollo y evaluación de acuerdo a la figura 1.1, esto hasta lograr cumplir con los objetivos predefinidos.

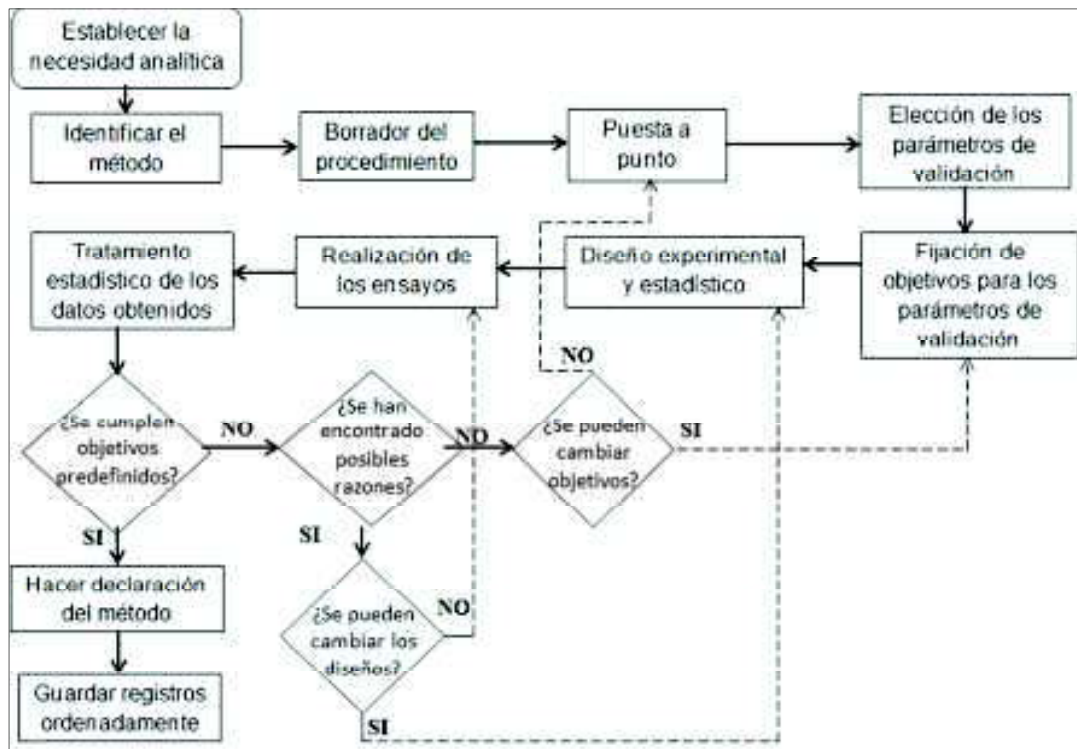
10. Hacer la declaración del método validado.

El proceso de validación finaliza con las conclusiones y declaración de cumplimiento de los objetivos establecidos.

11. Guardar los registros ordenadamente.

Guardar ordenadamente los registros y demás documentación generada durante el proceso de validación.

**Figura 1.1 Procedimiento de validación de un método.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: EURACHEM, 2016 & SAE, 2017.

### 1.5.3 INCERTIDUMBRE.

#### 1.5.3.1 Definición.

Según la guía UNE-ISO 3534-1:2013, la incertidumbre es una estimación unida al resultado de un ensayo que caracteriza el intervalo de valores dentro de los cuales se afirma que el resultado es verdadero, esta definición presenta la dificultad filosófica de que el “valor verdadero” no puede conocerse, por lo que se recurre a la definición planteada por el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) en el que se define a la incertidumbre como un parámetro asociado al resultado de una medida, que caracteriza la dispersión de valores

que pueda ser razonablemente atribuido al mensurando, es decir, a la magnitud sujeta a medida. La incertidumbre proporciona entonces una idea de la calidad del resultado, ya que indica cuánto puede alejarse un resultado del valor considerado como “valor verdadero”. Actualmente es de suma importancia que los resultados de una medición analítica se expresen con su respectiva incertidumbre, como lo especifica la norma ISO 17025:2017 (Crubellati & Di Risio, 2009).

Todas las mediciones están afectadas por cierto error. La incertidumbre de medición indica el posible tamaño de tal error, los errores que pueden presentarse en un sistema de medición se deben a: mensurando, equipos, procedimientos, operadores y ambiente (SAE, 2016).

Cabe recalcar que a pesar de considerarse todas las fuentes y componentes de error, y haberse aplicado las correcciones debidas, aun así, existe una incertidumbre asociada a la corrección del resultado final; eso implica una cierta duda respecto a la confiabilidad con la que el resultado final expresado representa el valor de la magnitud medida (GUM, 2008).

### **1.5.3.2 Expresión general de la incertidumbre.**

Del mismo modo en el que el uso prácticamente universal del Sistema Internacional de Unidades (SI) ha permitido dar coherencia a un sin número de mediciones científicas y tecnológicas, la forma de expresión de la incertidumbre debería darse mediante un consenso internacional, permitiendo así, que el resultado de medidas pueda ser interpretado y entendido fácilmente en todo el mundo, facilitando así, la comparación entre medidas realizadas en diferentes países (GUM, 2008).

Dentro de este contexto, la incertidumbre del resultado de una medición debe ser expresada de forma universal, es decir, debe poderse aplicar a toda clase de mediciones y a todo tipo de datos de entrada empleados en mediciones.

Así también, según la GUM (2008), la magnitud utilizada para expresar la incertidumbre deberá poseer las siguientes características:

- Debe ser consistente internamente, es decir, no deberá depender de la forma en cómo se agrupan o descompongan las componentes que la conforman.
- Debe ser transferible, es decir, debe poder utilizarse directamente la incertidumbre de un resultado cuando éste sea parte de la determinación de la incertidumbre de otra medición.

En cuanto a la expresión final del valor numérico de la incertidumbre estimada, no deberá reportarse con un excesivo número de cifras, según la GUM (2008), lo recomendable es expresarla con dos cifras significativas, a menos que sea necesaria la utilización de un mayor número de cifras significativas para evitar la propagación de errores de redondeo.

#### **1.5.3.3 Uso de la incertidumbre.**

Según el SAE (2016) la incertidumbre calculada es utilizada principalmente por:

- Clientes.- Junto con el resultado obtenido, conforma una base para una adecuada toma de decisiones.
- Laboratorio.- Permite conocer la calidad de medición y mejorarla.
- Autoridades reguladoras.- La incertidumbre permite analizar los resultados en el cumplimiento de los límites legales o permisibles.
- Organismos de Acreditación.- Verifican el cumplimiento de requerimientos normativos.

Adicionalmente la incertidumbre permite: evaluar si los resultados son adecuados para sus fines, comparar mediciones entre laboratorios, mejorar el conocimiento de un método, le da confianza al usuario de los resultados obtenidos, ahorra costos mediante la utilización de patrones, permite controlar la calidad de la industria manufacturera, es parte de la calibración de equipos, etc., (SAE, 2016).

#### **1.5.4 IMPORTANCIA DE LA ESTADÍSTICA.**

La influencia de la estadística en áreas como la ingeniería y la administración industrial se siente cada vez con mayor fuerza, entre las contribuciones de la estadística están las relacionadas con resolver problemas de producción, del uso efectivo de los materiales y la mano de obra, de la investigación básica y del

desarrollo de nuevos productos. Al igual que otras ciencias, la estadística ha llegado a convertirse en una herramienta fundamental para la ingeniería permitiendo entender fenómenos sujetos a variación y predecirlos de manera efectiva o controlarlos (Johnson, 2012).

Dentro de este contexto, la estadística es la ciencia que permite resolver algunos problemas tales como: descripción de datos y análisis de muestras, siendo este último tipo de problemas el de nuestro interés, la estadística se utiliza para elegir una muestra representativa y para hacer inferencia respecto a la población a partir de lo observado en una muestra, se la aplica para, por ejemplo: decidir si un proceso funciona o no adecuadamente, de acuerdo a las especificaciones del mismo (Galindo, 2006). En caso de que el procedimiento en cuestión no funcione adecuadamente, los métodos estadísticos tienen como objetivo dar una mejor orientación respecto a cuales son los cambios que se deben realizar en el proceso para mejorar su calidad (Walpole, Myers & Myers, 2012).

La estadística se divide en dos grandes ramas: la Descriptiva y la Inferencial.

- Estadística Descriptiva.- Conocida también como *Análisis Exploratorio de Datos*, es la ciencia que recopila, organiza en tablas y gráficos e interpreta la información numérica o cualitativa sin factores adicionales; es decir, sin concluir nada que vaya más allá de los datos, como tales.
- Estadística Inferencial.- Realiza análisis basados en generalizaciones que van más allá de los datos, es decir, se deriva de observaciones hechas a una pequeña parte de un gran conjunto de elementos. Investiga o analiza una población partiendo de la información obtenida a través de muestras de manera que pueda llevar a conclusiones válidas (Galindo, 2006; SAE, 2017).

#### **1.5.4.1 Aplicación de la Estadística.**

Dentro del campo de la experimentación, la estadística tiene las siguientes aplicaciones:

- Diseño de experimentos para el desarrollo de métodos y estudios de validación

- Evaluación de la variabilidad (precisión) y el error sistemático
- Comparación de las mediciones para comprobar su diferencia significativa
- Construcción, evaluación y uso de curvas de calibración
- Cálculo de límites de detección y determinación
- Cálculo de la incertidumbre de los valores medidos
- Control estadístico del proceso de medición (SAE, 2017).

#### **1.5.4.2 Investigación Estadística.**

La investigación estadística sugiere un proceso de recolección típico de información con cuatro pasos fundamentales:

- Establecer metas definidas con claridad para la investigación.
- Elaborar un plan de cuáles datos recolectar y cómo recabarlos.
- Aplicar métodos estadísticos adecuados para extraer información a partir de los datos.
- Interpretar la información y extraer conclusiones.

Estos son pasos indispensables que ofrecen un marco de referencia siempre que se desarrollen las ideas clave de la estadística. El razonamiento y los métodos estadísticos permiten obtener información y obtener conclusiones útiles (Johnson, 2012).



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO.**

#### **2.1 HORMIGÓN.**

El hormigón o concreto se define como una piedra artificial que resulta de la mezcla de cuatro componentes básicos: ripio, arena, agua y cemento, sin embargo, en casos especiales se suele añadir algún tipo de aditivo con el fin de dotar a la mezcla de ciertas características especiales que por sí sola no las posee (Luna, 2014).

Presenta una gran resistencia a la compresión pero muy poca resistencia a la tracción, por lo que para compensar esta desventaja se incorporan barras de acero y se lo usa en estructuras de hormigón armado.

##### **2.1.1 DOSIFICACIÓN.**

La dosificación es un conjunto de actividades que se llevan a cabo con la finalidad de encontrar las porciones adecuadas en las que hay que mezclar los componentes básicos del hormigón tales para obtener mezclas que cumplan con determinadas características de consistencia, resistencia y durabilidad. Uno de los aspectos más relevantes de la dosificación es la caracterización de sus componentes: agregados, cemento y agua. En el caso de los agregados y el cemento, dicha caracterización se realiza mediante la obtención de sus propiedades mediante la realización de ensayos normalizados de laboratorio, dichas propiedades deben cumplir con las especificaciones de las normas INEN y ASTM; en cuanto al agua, ésta debe cumplir con parámetros mínimos para ser considerada como apta para utilizarse en mezclas de hormigón (Cagua & Nates, 2017).

###### **2.1.1.1 Agregados.**

Los agregados constituyen alrededor de las tres cuartas partes del hormigón (75%), esto destaca la importancia de la calidad de éstos en la elaboración del hormigón por lo que es importante realizar una correcta selección de los mismos.

Influyen notablemente en las propiedades del hormigón fresco y endurecido tal como se muestra en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Influencia de los agregados en características y propiedades del hormigón.**

<b>En Estado Fresco</b>	
<b>Propiedad del hormigón</b>	<b>Característica del agregado que la influye</b>
Peso unitario	Densidad Tamaño máximo y granulometría
Manejabilidad	Granulometría Forma de la partícula
Contracción plástica	Limpieza Partículas friables
Requerimientos de agua	Tamaño máximo y granulometría Sanidad Limpieza
Sangrado	Granulometría Forma de la partícula
Pérdida de revenimiento	Absorción
Segregación	Tamaño máximo y granulometría

<b>En Estado Endurecido</b>	
<b>Propiedad del hormigón</b>	<b>Característica del agregados que la influye</b>
Durabilidad	Limpieza Textura superficial Sanidad Absorción Porosidad Reactividad con los álcalis
Resistencia a compresión	Limpieza Tamaño máximo/granulometría Forma de la partícula Resistencia mecánica Partículas friables Textura superficial
Cambios volumétricos	Tamaño máximo/granulometría Forma de la partícula Limpieza Presencia de arcilla Módulo de elasticidad
Costo	Tamaño máximo y granulometría Forma de la partícula Textura superficial Limpieza
Resistencia a la abrasión	Resistencia a la abrasión
Peso unitario	Densidad
Permeabilidad	Porosidad
Irregularidades superficiales	Partículas friables y terrones de arcilla

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

FUENTE: CEMEX Concretos (s.f.). Guía del usuario de concreto profesional. Agregados para el concreto. Obtenido de: [http://imcyc.com/biblioteca/ Archivos PDF/Agregados%20Generales/Agregados%20Para%20Concreto.pdf](http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Agregados%20Generales/Agregados%20Para%20Concreto.pdf)

Además de influir en las propiedades del hormigón, los agregados tienen la función de proveer un material de relleno a bajo costo, controlar el cambio de volumen que se da en el hormigón durante el proceso de fraguado o por cambios de humedad en la pasta agua-cemento; proporcionar un elemento resistente a la aplicación de cargas, abrasión, percolación de la humedad y acciones de agentes atmosféricos (Luna, 2014),

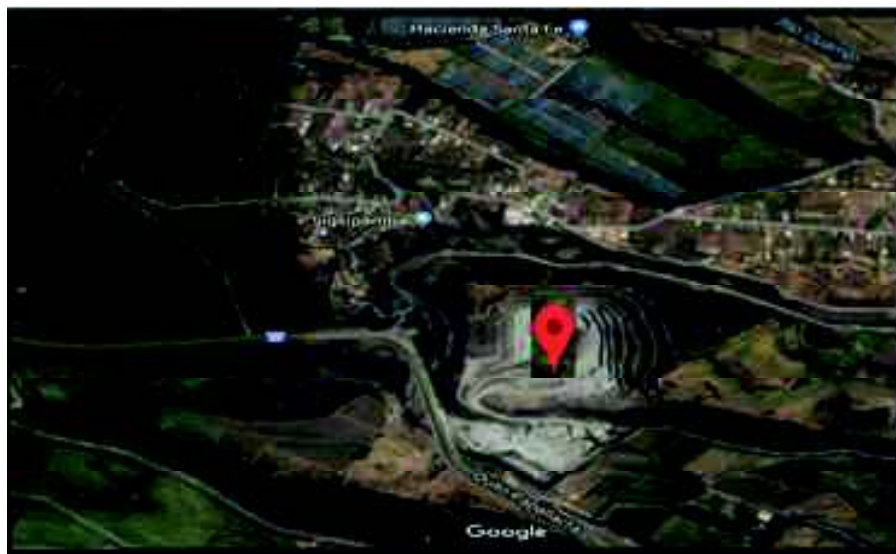
Dependiendo del diámetro medio de la partícula, los agregados pueden clasificarse en:

- Agregado fino: Es la fracción de agregado que pasa el tamiz N° 4 (4.75 mm) y se retienen en el tamiz N° 200 (0.075 mm).
- Agregado grueso: Se define a la fracción de agregado que se retiene en el tamiz N°4 (4.75mm).

Los agregados constituyen en el hormigón una estructura interna en la que los agregados más finos se intercalan entre los agregados más gruesos logrando así la menor cantidad de vacíos posible.

Los agregados fino y grueso utilizados en el presente trabajo son procedentes de la mina Holcim-Pifo ubicada al Noroccidente de Quito en la parroquia de Pifo, como se observa en la figura 2.1; a estos agregados se les realizó los ensayos correspondientes para su caracterización y posterior verificación del cumplimiento con las normas técnicas que aseguren su aptitud para ser usados en la elaboración del hormigón.

**Figura 2.1 Ubicación de la mina Holcim-Pifo.**



FUENTE: Google Maps (2018).

### 2.1.1.2 Cemento.

Según la norma INEN 0151 (2010), el cemento es un conglomerado hidráulico, es decir, un material inorgánico que, al entrar en contacto con el agua, fragua y se endurece formando una masa compacta y resistente, esto debido a reacciones químicas y procesos de hidratación que se producen, conservando así su resistencia y estabilidad incluso cuando está sumergido en agua.

Los componentes básicos del cemento son el Óxido de calcio (CaO), Dióxido de sílice (SiO<sub>2</sub>), Óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y Óxido de Hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), estos compuestos reaccionan entre sí durante el proceso de formación del Clinker transformándose así en compuestos más complejos (ASOCRETO, 2010). En la Tabla 2.2 se muestran los compuestos principales del cemento que se forman a partir de los óxidos mencionados, cabe recalcar que la cantidad de cada componente va a depender del tipo de cemento que se desee producir.

**Tabla 2.2 Compuestos principales del cemento.**

<b>Nomenclatura</b>	<b>Abreviatura</b>
Silicato tricálcico	C <sub>3</sub> S
Silicato didálcico	C <sub>2</sub> S
Aluminato tricálcico	C <sub>3</sub> A
Ferroaluminato tetracálcico	C <sub>4</sub> AF

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

FUENTE: ASOCRETO, 2010.

En nuestro medio, según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2380, el cemento hidráulico de acuerdo a sus propiedades específicas, se clasifica en:

- Tipo GU: Construcción en general.
- Tipo HE: Alta resistencia inicial.
- Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos.
- Tipo MH: Moderado calor de hidratación.
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación.

### 2.1.1.3 Agua.

El agua desempeña un papel importante en el proceso de elaboración del hormigón, tanto el agua de mezcla o amasado como el agua de curado. El agua potable, en general puede ser usada satisfactoriamente para los dos fines sin la necesidad de realizarse en ella ensayos para la verificación del cumplimiento de los requisitos especificados en normas, esto debido a que éste tipo de agua rara vez contiene sólidos disueltos que alcance las 2000 ppm, siendo éste el límite máximo permitido para el agua usada en la elaboración del hormigón (Quiroz & Salamanca, 2006).

- Agua de mezclado.- El agua de mezclado o amasado cumple dos importantes funciones en la elaboración del hormigón; hace posibles las reacciones químicas de hidratación del cemento y proporciona a la mezcla el grado de trabajabilidad necesario para la puesta en obra. El agua que se utilice para la elaboración del hormigón debe cumplir con ciertos requisitos respecto a sus componentes para evitar reacciones desfavorables con el acero o el cemento, estos requisitos están especificados en la NTE INEN 2617:2012 “Agua para mezcla. Requisitos”.
- Agua de curado.- Tiene una actuación más duradera que el agua de mezcla por lo que podría considerarse que es más perjudicial para el hormigón que ésta posea sustancias perjudiciales que el agua de amasado.

### 2.1.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL HORMIGÓN.

La resistencia a la compresión simple es la propiedad más importante del hormigón, es la medida más común de desempeño que los ingenieros emplean para el diseño de edificios y demás estructuras. El valor de la resistencia a la compresión empleada en el diseño depende del uso de la edificación, así puede variar desde 17 MPa para hormigón arquitectónico no-estructural hasta 28 MPa y más para estructuras comerciales, para usos especiales se emplean resistencias superiores de hasta 170 MPa en adelante (IMCYC, 2006).

Las normativas NTE INEN 1573 y ASTM C39 contemplan las especificaciones para la realización del ensayo de compresión en especímenes cilíndricos de

hormigón, dentro de este contexto, los ensayos de compresión necesarios para el desarrollo de la presente investigación fueron hechos en base a la norma internacional ASTM C39/C39M-18 “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens” y en base al procedimiento desarrollado en el LEMSUR “Procedimiento Específico para Ensayos de Compresión de Cilindros”.

Generalmente el hormigón se diseña de manera que a los 28 días de edad alcance alrededor del 100 % de la resistencia de diseño, en base a esto, se le asigna un porcentaje de resistencia alcanzada para edades comunes como son: 7, 14 y 21 días. En la figura 2.2 se muestra la evolución en la resistencia del hormigón en base a la edad de curado.

**Figura 2.2 Resistencia a la compresión del hormigón en función de la edad.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: Luna, G. (2014). Estudio del Hormigón.

## 2.2 ESTADÍSTICA BÁSICA.

### 2.2.1 DEFINICIONES BÁSICAS.

Según Galindo (2006), existen ideas básicas importantes que se debe tener en cuenta al momento de realizar un análisis estadístico, estas son:

- **Unidad Muestral:** Es el elemento, personal, animal, planta o cosa que va a ser objeto de estudio del investigador.
- **Población o universo:** Es el conjunto completo de elementos, personas, animales, plantas o cosas que se desea estudiar; es el grupo entero al que se quiere describir o del que se quiere sacar conclusiones.
- **Muestra:** Es el conjunto de unidades seleccionadas de la población siguiendo un plan o una regla, esto con el fin de obtener conclusiones respecto a la población de la cual proviene. La importancia de seleccionar una muestra representativa de la población general, se da debido a que, en la mayoría de casos, la población es demasiado grande para estudiarla completa. El número de unidades que conforman la muestra se denomina como tamaño muestral.

Para lograr que la muestra sea representativa, se realiza una selección al azar de las unidades que la conformarán, es importante también, definir adecuadamente la población y describir las unidades a ser seleccionadas, esto antes de recolectar la muestra (Galindo, 2006).

- **Frecuencia:** Número de veces que el valor de una observación se repite.
- **Factor de cobertura:** Es un valor mayor a uno que multiplicado por una incertidumbre estándar permite obtener una incertidumbre expandida, se simboliza con la letra  $k$  (VIM, 2012).

Además de los conceptos mencionados, otro concepto importante es el tipo de datos que se puede encontrar durante una investigación, éstos son:

- **Datos Cualitativos, Descriptivos o categóricos:** Son datos que describen características que no son medibles, tales como: color, forma.
- **Datos Cuantitativos ó Numéricos:** Son datos que describen características que son medibles, tales como: temperatura, peso, longitud.

### 2.2.2 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.

Al realizar un estudio estadístico, los datos que se obtienen son muy numerosos y están desordenados, los parámetros estadísticos permiten ordenar y sintetizar este conjunto de datos, y están definidos por fórmulas aritméticas obtenidas a partir de datos de la población (Marí & Martínez, sf).



Para distinguir un parámetro de la población de uno de una muestra, se usa la nomenclatura mostrada en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Nomenclatura de parámetros estadísticos.**

Características	Muestra	Población
Media	$\bar{x}$	$\mu$
Desviación estándar	$s$	$\sigma$
Varianza	$s^2$	$\sigma^2$

FUENTE: Botella, Alacreu & Martínez. (2014).

La inferencia estadística busca aproximarse a los parámetros que describan el comportamiento de la población a partir del cálculo de parámetros de una muestra, es así como, en ocasiones en las que no se cuenta con tiempo ni dinero suficientes para realizar un gran número de pruebas y calcular los parámetros estadísticos de la población, se calculan los parámetros estadísticos respecto a la muestra.

Existen tres tipos de parámetros estadísticos, estos son: de posición, de dispersión y de forma.

#### 2.2.2.1 Parámetros Estadísticos de Posición.

Los parámetros estadísticos de posición, centralización o localización indican en torno a qué valor (centro) se distribuyen mayoritariamente los datos, estos pueden ser de dos tipo: medidas de tendencia central tales como media, mediana y moda; y medidas de posición no central tales como cuartiles, deciles y percentiles, siendo los primeros, objeto de éste estudio.

##### 2.2.2.1.1 Media ( $\mu, \bar{x}$ ).

Conocida también como media aritmética o promedio, se define como la suma de todos los valores de las mediciones dividida para el número total de ellas, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.1)$$

Siendo:

$x_i$  = Valor de una medición.

$n$  = Número de mediciones.

Características de la media:

- Tiene las mismas unidades que la variable.
- En su cálculo intervienen todos los valores de la distribución.
- Es un valor único
- Representa a todos los valores observados.
- Su principal desventaja es que se ve afectado por la presencia de valores atípicos (Galindo, 2006).

#### 2.2.2.1.2 Mediana (Me).

La mediana es el valor que se encuentra en el punto medio de un conjunto de datos ordenados de menor a mayor, es decir, hay tantos datos por debajo como por encima de este valor. Si el número de datos, es par, la mediana es el promedio de los dos términos centrales.

Características de la mediana:

- Es fácil de calcular.
- No intervienen todos los valores en su cálculo, solo intervienen los valores centrales y no se ve afectada por la presencia de valores atípicos.

#### 2.2.2.1.3 Moda (Mo).

La moda se define como el valor dentro del conjunto de datos que tiene una mayor frecuencia, es decir, el que más se repite. Si la variable estadística es continua el valor de la variable de mayor frecuencia es un intervalo, llamado intervalo modal (Alcantud, 2012).

Características de la moda:

- Es fácil de calcular e interpretar y en su cálculo no intervienen todos los valores de la distribución.
- Es la única medida de localización que puede obtenerse en las variables de tipo cualitativo (Galindo, 2006).

#### 2.2.2.2 Parámetros Estadísticos de Dispersión o Variabilidad.

Los parámetros de posición expresados por sí solos, no proporcionan suficiente información respecto a la población estudiada ya que la simplifican excesivamente, estos parámetros adquieren verdadero significado cuando van acompañados de información que permita conocer sobre la variedad de todos los datos (Marí & Martínez., sf).

Dicha información la proporcionan los parámetros de dispersión, éstos indican cuánto se alejan de la media los datos, es decir, miden la dispersión de los mismos, tienen la propiedad de que si éstos están bastante separados entre sí, el valor del parámetro será muy alto; y si los datos se encuentran más agrupados, el valor del parámetro será bajo.

Existen varios parámetros de dispersión, siendo los de interés la varianza, desviación estándar, recorrido o rango y coeficiente de variación.

##### 2.2.2.2.1 Varianza ( $\sigma^2, s^2$ ).

La varianza es la medida de dispersión más usada, es igual a la suma de los cuadrados de las desviaciones de las mediciones, respecto a la media ( $\bar{x}$ ); se calcula mediante la siguiente expresión:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (2.2)$$

Siendo:

$x_i$  = Valor de una medición.

$\bar{x}$  = Media aritmética.

$n$  = Número de mediciones.

El cálculo de la varianza mediante la expresión anterior puede resultar algo complejo por lo que se considera más apropiado utilizar la forma algebraicamente equivalente que simplifica más el cálculo, además, ésta expresión no incluye el valor de la media ( $\bar{x}$ ) reduciendo así errores por redondeo (Johnson, 2012).

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2/n}{n - 1} \quad (2.3)$$

Siendo:

$xi$  = Valor de una medición.

$n$  = Número de mediciones.

#### 2.2.2.2.2 *Desviación Estándar ( $\sigma, s$ ).*

La desviación estándar de  $n$  observaciones es igual a la raíz cuadrada de su varianza, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$s = \sqrt{s^2} \quad (2.4)$$

Siendo:

$s^2$  = Varianza.

Características de la desviación estándar:

- Es una medida de variación absoluta al igual que la varianza.
- Es única y siempre positiva.
- La presencia de valores atípicos afectan el cálculo.
- Tiene las mismas unidades que las de los datos originales.
- En el cálculo intervienen todos los valores de la distribución.

#### 2.2.2.2.3 *Coficiente de variación (CV).*

El coeficiente de variación es una medida de variación relativa, se define como la desviación estándar dividida para la media y multiplicada por 100, es un valor

adimensional que permite comparar la homogeneidad entre dos poblaciones (Alcantud, 2012).

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} * 100\% \quad (2.5)$$

$s$  = Desviación estándar.

$\bar{x}$  = Media aritmética.

#### **2.2.2.2.4 Recorrido o rango.**

El recorrido o rango de  $n$  mediciones se define como la diferencia entre el mayor valor y el menor valor de las mismas, es decir, es la longitud del tramo contenido entre estos dos valores.

$$Rango = X_{m\acute{a}x} - X_{m\acute{i}n} \quad (2.6)$$

Siendo:

$X_{m\acute{a}n}$  = Valor máximo.

$X_{m\acute{i}n}$  = Valor mínimo

El rango se considera como una medida fácil de calcular, pero poco precisa ya que solo se toma en consideración dos valores extremos por lo que puede verse afectado por la presencia de valores atípicos (Galindo, 2006).

#### **2.2.2.3 Parámetros Estadísticos de Forma.**

Los parámetros de forma junto con los de posición y dispersión permiten tener información más precisa sobre el comportamiento de los datos. La importancia de estos parámetros se da debido a que, aunque se resume la distribución mediante medias, no se debe asumir que el comportamiento de todos los datos va a ser uniformemente constante e igual a la media.

Los parámetros de forma indican la configuración que presenta la gráfica o histograma de los datos, es decir, de cómo se distribuyen, generalmente los

histogramas de variables continuas tienen forma de campana de Gauss que es el modelo matemático de la distribución normal, y es el tipo de distribución que con mayor frecuencia se presenta en un sinnúmero de fenómenos reales (Marí & Martínez, sf).

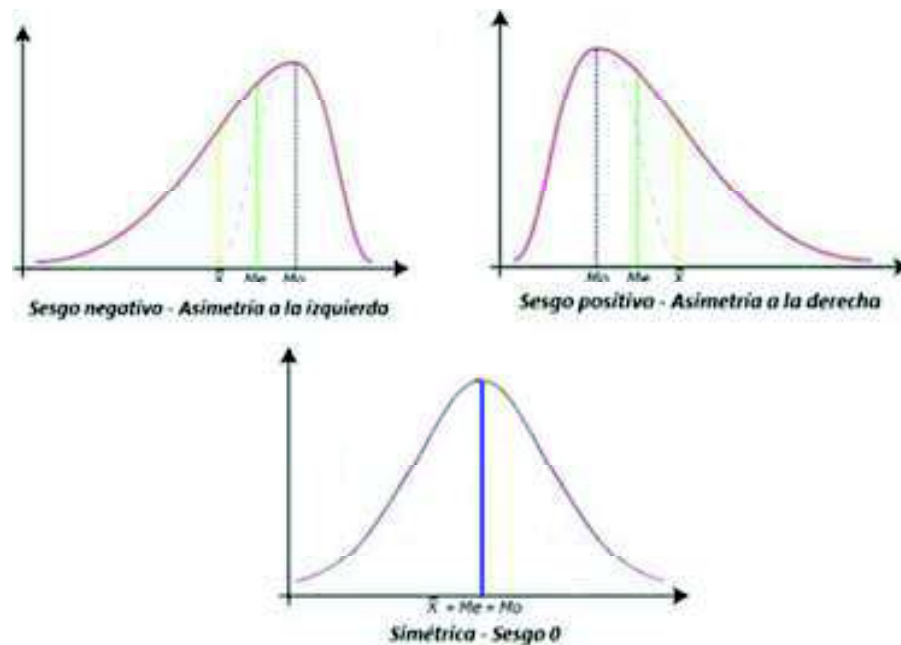
Los parámetros de forma más conocidos son el coeficiente de asimetría y el coeficiente de curtosis.

### 2.2.2.3.1 *Coeficiente de asimetría (As).*

Una variable es asimétrica si en su representación de distribución gráfica, una cola es más larga que la otra, es decir, se encuentra sesgada; esto ocurre cuando los valores se encuentran concentrados hacia alguno de los dos extremos y, es simétrica si las dos colas son igual de largas (Galindo, 2006).

El coeficiente de asimetría se denota con las letras  $As$ , mide el grado de asimetría de la distribución de un conjunto de datos con respecto a la media. Si  $As > 0$  asimetría positiva, la distribución es asimétrica a la derecha; si  $As = 0$ , la distribución es simétrica; y si  $As < 0$  asimetría negativa, la distribución es asimétrica a la izquierda, tal como se muestra en a figura 2.3.

**Figura 2.3 Tipos de asimetrías.**



FUENTE: Castro, (s.f).

El coeficiente de asimetría es adimensional y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$As = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^3 / n}{s^3} \quad (2.7)$$

Siendo:

$xi$  = Valor de una medición.

$\bar{x}$  = Media aritmética.

$s$  = Desviación estándar.

$n$  = Número de mediciones.

#### 2.2.2.3.2 *Coficiente de Apuntamiento o curtosis (Ap).*

El coeficiente de apuntamiento o curtosis permite medir el grado de concentración que tienen los valores en torno a la media, la referencia es una variable con distribución normal, de modo que para ésta, el coeficiente de curtosis es cero (Galindo, 2006). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Ap = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^4 / n}{s^4} - 3 \quad (2.8)$$

Siendo:

$xi$  = Valor de una medición.

$\bar{x}$  = Media aritmética.

$s$  = Desviación estándar.

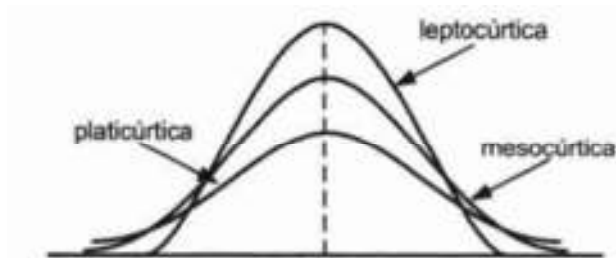
$n$  = Número de mediciones.

Si  $Ap > 0$ ; La curva es notablemente empinada, se denomina leptocúrtica.

Si  $Ap = 0$ ; Es una curva de distribución normal, se la denomina mesocúrtica.

Si  $Ap < 0$ ; La curva es relativamente plana, se la denomina platicúrtica.

**Figura 2.4 Curtosis de curvas simétricas.**



FUENTE: Galindo (2006).

### 2.2.3 NIVEL DE CONFIANZA.

El nivel de confianza es la probabilidad de que el parámetro que se desea estimar se encuentra dentro de cierto intervalo de confianza y, se denomina nivel de significación ( $\alpha$ ) a la probabilidad de error en ésta afirmación (Botella, Alacreu & Martínez, 2014).

Los niveles de confianza que se usan con mayor frecuencia son 90%, 95% y 99%, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$p\% = \text{Nivel de confianza} = 100\%(1-\alpha) \quad (2.9)$$

Siendo:

$\alpha$  = Nivel de significancia.

### 2.2.4 MARGEN DE ERROR.

El margen de error cuantifica el error y permite conocer la precisión al momento de estimar un valor utilizando herramientas estadísticas.

El margen de error está directamente relacionado con el intervalo de confianza, si el intervalo de confianza es simétrico, el margen de error es igual a la mitad del intervalo de confianza. Mientras mayor sea el margen de error, mayor será el intervalo de confianza y menos confiable será la estimación realizada.



$$\text{Margen de error} = z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.10)$$

$$z = \frac{x - u}{\sigma} \quad (2.11)$$

Siendo:

$x$  = Valor de interés.

$u$  = Media aritmética.

$z_{\alpha/2}$  = Valor que deja a la derecha un valor de  $\alpha/2$ .

$\sigma$  = Desviación estándar.

$n$  = Número de mediciones.

### 2.2.5 INTERVALO DE CONFIANZA (IC).

El intervalo de confianza se define como un intervalo o un rango dentro del cual, con una determinada probabilidad, se encuentra el valor del parámetro que se busca.

Para una muestra de tamaño  $n$ , con un nivel de confianza  $1-\alpha$  y una desviación estándar de la población  $\sigma$ , el intervalo de confianza se calcula mediante la siguiente expresión:

a) Si  $\sigma$  es conocido:

$$\left( u - z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \ ; \ u + z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (2.12)$$

Siendo:

$u$  = Media aritmética de la población.

$z_{\alpha/2}$  = Valor que deja a la derecha un valor de  $\alpha/2$ .

$\sigma$  = Desviación estándar de la población.

$n$  = Número de mediciones.

b) Si  $\sigma$  es desconocido:

$$\left( \bar{x} - v \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} ; \bar{x} + v \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \quad (2.13)$$

Siendo:

$\bar{x}$  = Media aritmética de la muestra.

$s$  = Desviación estándar de la muestra.

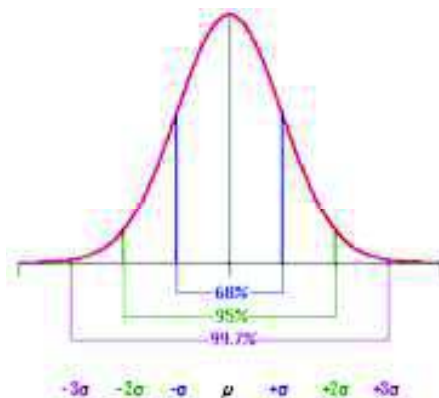
$n$  = Número de mediciones.

$v$  = Grados de libertad.

### 2.2.6 DISTRIBUCIÓN NORMAL.

Conocida también como distribución Gaussiana, la distribución normal está determinada por dos parámetros: su media y su desviación estándar; se caracteriza principalmente por tener una sola moda que coincide con la mediana y la media. Su representación gráfica es una curva normal con forma de campana conocida como campana de Gauss que es simétrica respecto a su media y asintótica en los extremos haciendo que cualquier valor entre  $-\infty$  y  $+\infty$  sea teóricamente posible. El área bajo la curva es igual a uno, y la probabilidad de que un dato sea mayor que la media o menor que la media es del 50% (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010).

**Figura 2.5 Representación gráfica de la distribución normal.**



Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile (2010).

Se asume que el error analítico sigue una distribución normal, se considera que el error total está formado por la combinación de errores pequeños e independientes que surgen a lo largo de las diferentes etapas del procedimiento (SAE, 2017).

La distribución normal tiene una función de densidad igual a:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.14)$$

Siendo:

$x$  = Valor de interés.

$u$  = Media aritmética.

$\sigma$  = Desviación estándar.

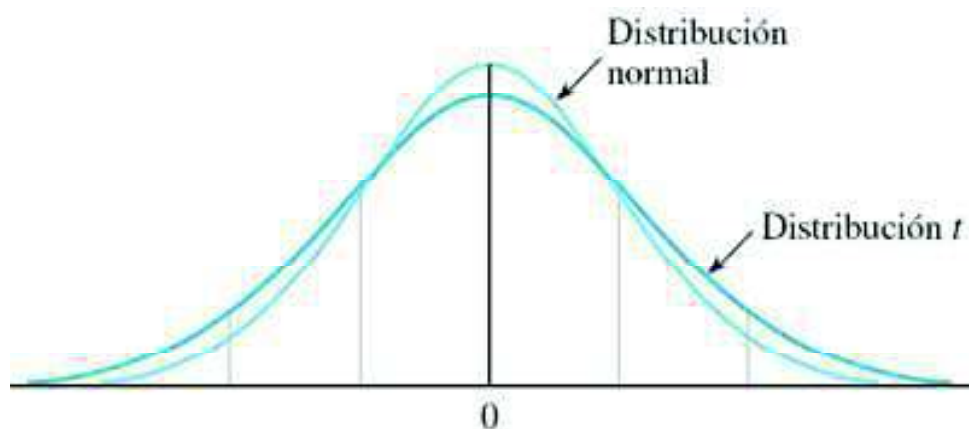
Para que el valor de la variable estudiada se encuentre:

- Entre la media y una desviación estándar hay, una probabilidad de aproximadamente 68%.
- Entre la media y dos desviaciones estándar hay, una probabilidad de aproximadamente 95%.
- Entre la media y tres desviaciones estándar hay, una probabilidad de aproximadamente 99.7%.

### 2.2.7 DISTRIBUCIÓN DE T STUDENT.

La distribución-t o distribución t de Student es una distribución de probabilidad que permite estimar la media de poblaciones normalmente distribuidas cuando el tamaño de la muestra es pequeño, un concepto necesario para entender la distribución t es el de grados de libertad ( $v$ ), que se calculan restando uno al número total de mediciones ( $n-1$ ). La forma de una curva de distribución t es simétrica similar a la de la distribución normal, sin embargo, tiene las colas más amplias que en la distribución normal, tal como se muestra en la figura 2.6.

**Figura 2.6 Distribución normal y distribución t.**



FUENTE: Castro, (s.f).

Propiedades de la distribución t.

- Una curva t tiene forma de campana con centro en 0.
- Es más dispersa que una curva normal estándar.
- Mientras mayor sea el grado de libertad ( $\nu$ ), la curva más se aproximará a una curva normal estándar, siendo ésta la forma límite de la distribución t.

## **2.3 PARÁMETROS DE VALIDACIÓN.**

### **2.3.1 SELECTIVIDAD.**

La selectividad define la capacidad que tiene un método para medir específicamente el parámetro de interés en presencia de otros componentes (SAE, 2017).

La selectividad debe ser establecida para métodos desarrollados internamente, métodos adaptados y métodos normalizados utilizados fuera de su alcance; cuando estos últimos son utilizados dentro de su alcance, la selectividad ya ha sido determinada en el proceso de normalización (Eurachem, 2016).

### **2.3.2 CONFIRMACIÓN DE IDENTIDAD.**

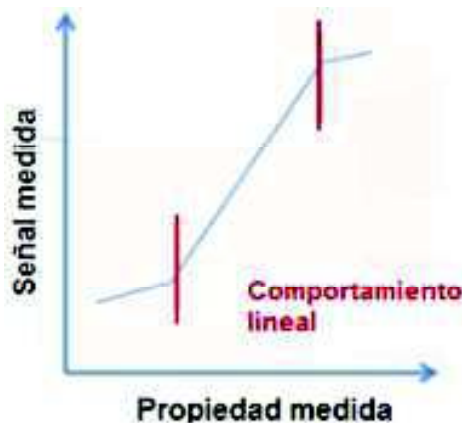
La confirmación de identidad permite establecer si la señal o propiedad medida se debe únicamente al parámetro de interés y no debido a una coincidencia o a la

presencia de componentes que tienen un comportamiento similar. Si el método de ensayo presenta una alta selectividad no es necesario el uso de técnicas de confirmación.

### 2.3.3 LINEALIDAD.

Se define como linealidad a la capacidad de un método de dar resultados proporcionales al parámetro que se desea medir, es decir, es la relación lineal entre la señal medida y el valor de la propiedad a determinar, como se observa en la figura 2.7 (Crubellati & Di Risio, 2009).

**Figura 2.7 Determinación del rango lineal.**



FUENTE: SAE (2017).

Para determinar la linealidad se utiliza un criterio de aceptación cualitativo como lo es el coeficiente de correlación ( $r$ ), éste muestra la relación entre la causa ( $x$ ) y el efecto ( $y$ ) y puede tener valores desde -1 hasta 1. Un valor de  $r$  igual a +1 o a -1 indica una correlación con una probabilidad elevada y si es igual a 0 entonces  $x$  e  $y$  no están correlacionados y son independientes; es recomendable un  $r \geq 0,99$ .

Para demostrar la linealidad se realizan cálculos de regresión que permiten determinar una curva mediante el método de mínimos cuadrados. La ecuación de regresión es igual a:

$$y = bx + a$$

**(2.15)**

Siendo:

$a$  = Punto del corte con el eje  $y$ .

$b$  = Pendiente de la gráfica.

$x$  = Variable aleatoria independiente.

$y$  = Variable aleatoria dependiente.

Los cálculos de regresión suelen ser insuficientes para demostrar la linealidad del gráfico de calibración u otro ajuste, por lo que se recurre a un análisis visual o análisis de residuos.

En la estimación de  $y$  a partir de los valores de  $x$ , el error tipo se calcula así:

$$S_{y.x} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y)^2}{n - 2}} \quad (2.16)$$

Siendo:

$y$  = Variable aleatoria dependiente.

$n$  = Número de observaciones.

La desviación estándar de los coeficientes  $a$  y  $b$  se calcula así:

$$S_a = S_b \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}} \quad , \quad S_b = \frac{S_{y.x}}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2}} \quad (2.17)$$

Siendo:

$S_{y.x}$  = Error tipo.

$x$  = Variable aleatoria independiente.

Los intervalos de confianza de los coeficientes  $a$  y  $b$  se calcula así:

$$\begin{aligned} \mathbf{a \pm t \cdot S_a} \\ \mathbf{b \pm t \cdot S_b} \end{aligned} \quad (2.18)$$

Siendo:

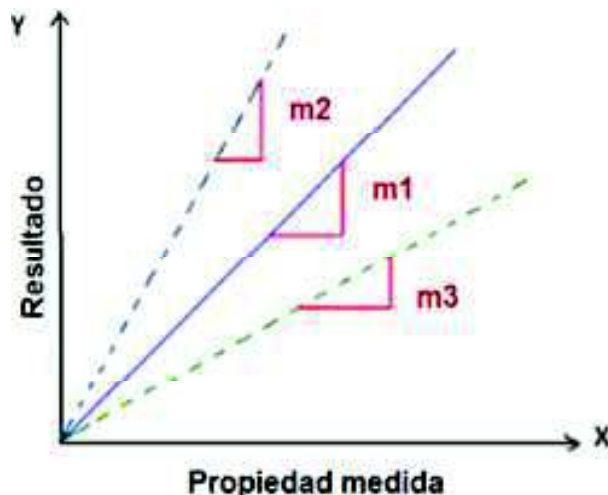
$t$  = Valor de Student para  $n-2$  grados de libertad.

$S_a, S_b$  = Desviación estándar de los coeficientes  $a$  y  $b$ .

#### 2.3.4 SENSIBILIDAD.

Indica la variación de la resultado en función de la magnitud medida, se dice que un método es sensible cuando una pequeña variación en la propiedad medida representa una gran variación en la respuesta (m2-figura 2.8) (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010).

**Figura 2.8 Pendientes de rectas de calibración.**



FUENTE: Instituto de Salud Pública de Chile (2010).

El valor de sensibilidad se lo puede obtener ya sea experimentalmente, o mediante la pendiente ( $m$ ) de la recta de calibración del instrumento, permite determinar la capacidad de respuesta de dicho instrumento en el tiempo. La sensibilidad no es una característica de desempeño muy importante, sin embargo, permite:

- Construir curvas estándar con niveles apropiados de concentración.
- Utilizar un tamaño adecuado de muestra.
- Verificar el desempeño del instrumento (SAE, 2017).

### 2.3.5 LÍMITE DE DETECCIÓN (LOD).

El límite de detección se define como el valor mínimo de la propiedad medida que se puede detectar en una muestra por el método a un cierto nivel de confianza, es decir, es el punto a partir del cual la detección del parámetro de interés se vuelve problemática. La capacidad de detección depende del método utilizado, la calibración del método y del equipo empleado (Crubellati & Di Risio, 2009).

Es importante diferenciar entre límite de detección del instrumento y límite de detección del método, siendo éste último el de mayor interés para la validación del método (Eurachem, 2016). En química analítica, el límite de detección se calcula con un mínimo de 10 observaciones de un blancos o blancos fortificados, se obtiene la desviación estándar y se expresa el límite de detección así:

$$LD = B + 3,3_{SB} \quad \text{ó} \quad LD = 0 + 3,3_{SBF} \quad (2.19)$$

$B$  = Valor de la señal del blanco.

$S_B$  = Desviación estándar del blanco.

$S_{BF}$  = Desviación estándar del blanco fortificado.

### 2.3.6 LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN (LOQ).

El límite de cuantificación se define como la menor valor de la propiedad a ser medida que se puede determinar con un aceptable nivel de repetibilidad y exactitud. Se lo conoce también como límite de determinación y generalmente se calcula multiplicando por tres el límite de detección (Crubellati & Di Risio, 2009).

Es una característica de desempeño que permite determinar la capacidad de un método de cuantificar adecuadamente (SAE, 2017).

### 2.3.7 INTERVALO DE TRABAJO.

El intervalo de trabajo también conocido como rango, es el intervalo dentro del cual el método de ensayo empleado proporciona resultados con un aceptable grado de precisión y veracidad (SAE, 2017). El límite inferior del intervalo de trabajo está determinado por el límite de cuantificación o detección y el límite



superior depende de la sensibilidad de respuesta del instrumentos; el intervalo de trabajo del método a ser validado debe estar especificado en el alcance del procedimiento del mismo y en el proceso de validación se deberá confirmar que el método puede utilizarse dentro de ese intervalo (Eurachem, 2016).

Cuando la muestra debe ser previamente tratada antes de las respectivas mediciones, se diferencian dos intervalos de trabajo: el del instrumento y el del método, en el proceso de validación se deberá verificar que estos dos intervalos sean compatibles entre sí y la relación que cada uno tiene (lineal, curvilínea, etc.).

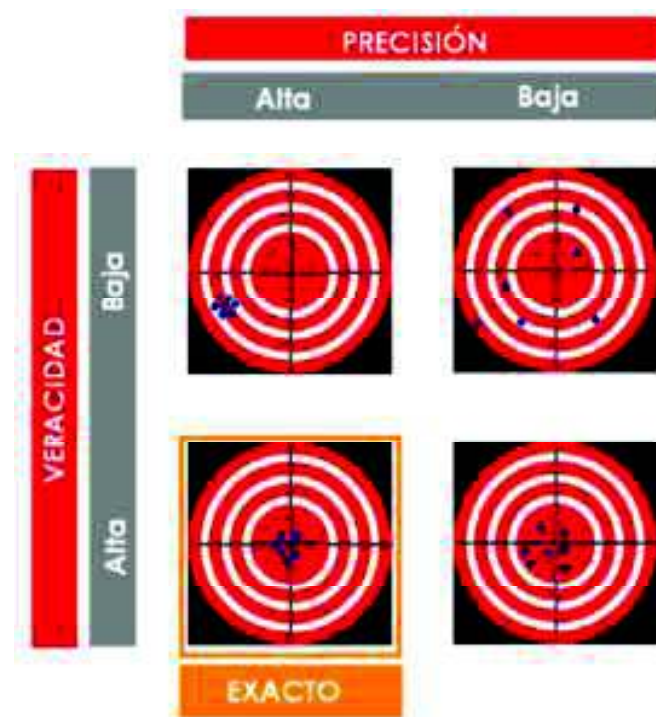
En caso de existir un límite legislado para el mensurando, éste debe estar incluido dentro del intervalo de trabajo, caso contrario, será definido según el uso del método (SAE, 2017).

#### **2.3.8 EXACTITUD.**

Según la UNE-ISO 3534-1:2013, la exactitud se define como la proximidad entre el resultado de una medición y el valor de referencia aceptado, el término está aplicado a un conjunto de resultados de un ensayo e involucra una combinación de componentes aleatorios y una componente de error sistemático o sesgo (SAE, 2017).

La exactitud tiene dos componentes que son la veracidad y la precisión, mientras más veraz y preciso sea un resultado analítico, más exacto será el método, tal como se muestra en la figura 2.9.

**Figura 2.9 Definición gráfica de exactitud.**



FUENTE: Instituto de Salud Pública de Chile (2010).

A continuación se analizan los términos veracidad y precisión como componentes de la exactitud.

### 2.3.8.1 Veracidad.

La veracidad de un método se define como la proximidad entre la media de un conjunto de resultados y el valor verdadero o valor de referencia aceptado y se expresa comúnmente en términos de sesgo (Crubellati & Di Risio, 2009).

En caso de no disponer de un valor verdadero o un material de referencia adecuado, se recurre a la realización de ensayos de recuperación para la determinación de la veracidad del método, esto en el caso de ensayos no destructivos.

### 2.3.8.1.1 Sesgo.

El sesgo se determina mediante la comparación de la media ( $\bar{x}$ ) de un conjunto de resultados del método estudiado y un valor de referencia adecuado ( $x_{ref.}$ ), si la diferencia es considerable se tiene un valor de sesgo alto, mientras más pequeño sea el sesgo, más veraz será el método.

$$s = \bar{x} - x_{ref} \quad (2.20)$$

Siendo:

$s$  = Sesgo.

$\bar{x}$  = Media de las lecturas obtenidas.

$x_{ref}$  = Valor del material de referencia o valor esperado.

Una vez obtenido el sesgo, se aplica la prueba t para un nivel de confianza y un grado de libertad determinado. Para que el sesgo obtenido sea aceptable, debe cumplirse que  $t_{calculado}$  sea menor que  $t_{critico}$ .

$$t_{calculado} = \frac{|\bar{x} - x_{ref}|}{S \cdot \sqrt{n}} \quad (2.21)$$

Siendo:

$t_{calculado}$  = Valor t calculado.

$\bar{x}$  = Media de las lecturas obtenidas.

$x_{ref}$  = Valor del material de referencia o valor esperado.

$S$  = Desviación estándar.

$n$  = Número de observaciones.

El sesgo se puede calcular también de las siguientes maneras:

- Utilizando material de referencia fortificado.
- Validando por comparación con otros métodos ya validados.
- Participando con estudios colaborativos.

- En caso de no disponer de las alternativas mencionadas, se podría usar las muestras empleadas para pruebas de desempeño, de las cuales se disponga de los resultados del ejercicio interlaboratorio (Crubellati & Di Risio, 2009).

### 2.3.8.2 Precisión.

La precisión es la medida de cuan cerca están los resultados entre sí, se expresa como desviación estándar o desviación estándar relativa calculada a partir de los resultados obtenidos de mediciones repetidas bajo condiciones específicas (Eurachem, 2016).

Se evalúa mediante tres parámetros que son: repetibilidad, precisión intermedia y reproducibilidad; estos parámetros se expresan en forma cuantitativa, en función de la dispersión de los resultados.

#### 2.3.8.2.1 Repetibilidad.

La repetibilidad mide la cercanía de los resultados de mediciones sucesivas realizadas de un mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición usando un mismo procedimiento, por un mismo operador, con muestras de prueba idénticas, con un mismo equipo, en un período corto de tiempo y en el mismo laboratorio (SAE, 2017).

Se calcula efectuando un aproximado de 10 mediciones bajo las condiciones mencionadas, se puede expresar como desviación estándar ( $S_r$ ), desviación estándar relativa (RSDr%) o como coeficiente de varianza (CV%)(Delgado, 2009).

La desviación estándar de la repetibilidad, se calcula así:

$$S_r = \sqrt{DCM_w} \quad (2.22)$$

Siendo:

$S_r$  = Desviación estándar de repetibilidad.

$DCM_w$  = Varianza dentro del grupo calculada en la sección 2.4.3.1.

#### **2.3.8.2.2 Precisión intermedia.**

La precisión intermedia mide la variación de los resultados de mediciones realizadas en el mismo laboratorio pero en condiciones más variables que las condiciones de repetibilidad, en ocasiones, la precisión intermedia representa la reproducibilidad dentro del laboratorio (Eurachem, 2016).

Representa las variaciones dentro del laboratorio, mismas que se producen al variar algunas de las condiciones, es decir, el mismo método, muestras de prueba similares pero diferente operador, diferente equipo o tiempos prolongados, etc. Se expresa como una desviación estándar.

#### **2.3.8.2.3 Reproducibilidad.**

La reproducibilidad mide la cercanía de los resultados de mediciones de un mismo mensurando, muestras de ensayo similares bajo condiciones de medición diferentes.

Las condiciones que pueden variar son:

- El principio de medición.
- El método de medición.
- El observador.
- El instrumento de medición.
- El patrón de referencia.
- Intervalos de tiempo.
- Laboratorio y condiciones de uso (SAE, 2017).

El concepto de reproducibilidad es utilizado específicamente para expresar la variación entre laboratorios utilizando un mismo método, aunque también puede utilizarse para expresar la variación entre laboratorios utilizando diferentes métodos, pero con el fin de medir la misma magnitud; se expresa como desviación estándar (Eurachem, 2016).

Según el SAE (2017), la desviación estándar de la reproducibilidad se calcula así:

$$S_R = \sqrt{S_r^2 + S_L^2} \quad \text{donde} \quad S_L^2 = \frac{DCM_B - DCM_W}{n} \quad (2.23)$$

Siendo:

$S_R$  = Desviación estándar de reproducibilidad.

$S_r$  = Desviación estándar de repetibilidad.

$S_L$  = Contribución a la variación total del factor de agrupamiento

$DCM_W$  = Varianza dentro del grupo calculada en la sección 2.4.3.1.

$DCM_B$  = Varianza entre grupos calculada en la sección 2.4.3.1.

### 2.3.9 ESTABILIDAD.

Los estudios de estabilidad permiten documentar los cambios físicos, químicos y microbiológicos que se producen en un producto al exponerlo a diferentes condiciones ambientales como temperatura, luz, humedad. Los ensayos de estabilidad permiten determinar las condiciones adecuadas para el almacenamiento del producto (Garré, sf.).

### 2.3.10 ROBUSTEZ.

La robustez de un método es la medida de la capacidad que éste tiene de permanecer inalterado ante pequeñas variaciones de los parámetros del método indicando su fiabilidad durante su uso normal (Crubellati & Di Risio, 2009).

Para la realización de un ensayo de robustez, se ejecutan pequeños pero deliberados cambios en los factores o parámetros involucrados en el método de ensayo, y se investiga el efecto que estos cambios generan en el desempeño del mismo; esto permite identificar los factores o parámetros que causen las variaciones más significativas en el desempeño del método para poder controlarlos (Eurachem, 2016).

Entre los factores o parámetros que pueden producir variaciones en el ensayo de compresión en cilindros, están los siguientes:

- Operador.
- Equipos.
- Temperatura de ensayo.

- Otros.

La determinación de la robustez de un método puede llevarse a cabo mediante la utilización del diseño experimental de Plackett Burman, mediante la aplicación del test de Youden y Steiner o mediante la realización de pruebas estadísticas que permitan determinar si las variaciones que se producen son estadísticamente significativas.

El test de Youden y Steiner permite evaluar el efecto de siete parámetros mediante ocho análisis de muestras. Los factores a ser estudiados no necesariamente deben ser siete, pueden ser menos pero siempre se deben llevar a cabo ocho mediciones para la realización del test (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010).

Una vez identificados los posibles factores del método que pueden afectar el desempeño normal del mismo, se procede a evaluar la variabilidad de cada uno, es decir, se lo expone a una variación respecto a lo establecido en el método; esta variación va desde un valor alto (A, B,...,G) y otro bajo (a, b,...,g).

Las ocho mediciones realizadas bajo condiciones de variación de los factores establecida, se expresan mediante letras de la s a la z, tal como se muestra en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Esquema del test de Youden y Steiner.**

Valor del parámetro variable	Análisis							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>A, a</b>	A	A	A	A	a	a	a	A
<b>B, b</b>	B	B	B	b	B	b	b	B
<b>C, c</b>	C	c	C	c	C	c	C	C
<b>D, d</b>	D	D	D	d	d	d	D	D
<b>E, e</b>	E	e	E	e	e	E	e	E
<b>F, f</b>	F	f	F	F	F	f	f	F
<b>G, g</b>	G	g	G	G	g	G	G	g
<b>RESULTADOS</b>	S	t	u	v	w	x	y	z

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

FUENTE: Bedregal, Torres, Ubillús, & Mendoza (2008).

Se determina el efecto que tiene cada variable o parámetro a partir de los resultados obtenidos de los ocho análisis realizados (s, t,..., z), se calcula la media de los cuatro análisis que contengan la variable de mayor valor y de los cuatro que contienen el menor valor, para el caso de la primera variable se tendría que:

$$\frac{(s + t + u + v)}{4} = \frac{4A}{4} = A \quad y \quad \frac{(w + x + y + z)}{4} = \frac{4a}{4} = a \quad (2.24)$$

Siendo:

$A, a$  = Variable que posiblemente produce variaciones en el método de ensayo

$s, t, u, v$  = Valores mayores.

$w, x, y, z$  = Valores menores.

Se comparan los valores obtenidos (A-a) y se conoce la influencia que tiene el parámetro estudiado en el método de ensayo, se procede de la misma forma para el resto de variables (B-b,...,G-g), mientras mayor sea la diferencia entre el valor mayor y el valor menor ( $\Delta = X - x$ ), mayor influencia tendrá el parámetro sobre los resultados del método de ensayo (Bedregal, Torres, Ubillús, & Mendoza, 2008).

Se considera que el método es robusto si la diferencia entre el valor mayor y menor es menor que  $\sqrt{2}$  de la desviación estándar de los resultados de las ocho mediciones realizadas (S) (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010), así:

$$(X - x) < \sqrt{2} S \quad (2.25)$$

Siendo:

$X$  = Valor mayor.

$x$  = Valor menor.

$S$  = Desviación estándar de las ocho observaciones realizadas.

### 2.3.11 REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (R&R).

Un estudio de repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones permite evaluar la calidad del sistema de medición y determinar que parte de la variación observada



en el proceso de medición se debe al sistema usado (Portuondo Paisan & Portuondo Moret, 2010).

#### **2.3.11.1 Aplicaciones del estudio de repetibilidad y reproducibilidad.**

El estudio de repetibilidad y reproducibilidad, tiene las siguientes aplicaciones:

- La evaluación de ensayos de aptitud.
- La validación de métodos de calibración.
- El análisis de comparaciones interlaboratorios.
- La evaluación de cartas de control.
- La variabilidad de mediciones e instrumentos.
- La evaluación de la estabilidad de instrumentos (SAE, 2017).

#### **2.3.11.2 Metodología de cálculo de R&R.**

El estudio de repetibilidad y reproducibilidad se basan en la evaluación estadística de las dispersiones de los resultados, en forma de rango, como varianza o desviación estándar.

Los métodos empleados para llevar a cabo el estudio de repetibilidad y reproducibilidad, son:

- Rango.
- Promedio y rango.
- ANOVA.

##### ***2.3.11.2.1 Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad mediante Promedios y Rangos.***

A continuación se muestra el procedimiento a seguir para el cálculo de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedio y rango.

1. Se determinan el número de operadores y el número de ensayos que va a realizar cada uno.
2. Cada operador realiza las mediciones correspondientes y consigna los resultados correspondientes en el formato respectivo para su posterior estudio.

3. Los operadores repiten las mediciones, esta vez en un orden diferente y sin observar las mediciones ya realizadas por sus compañeros.
4. Con los datos obtenidos, se calcula el rango (R) de cada operador, mediante la siguiente ecuación:

$$R = X_{m\acute{a}x} - X_{m\acute{i}n} \quad (2.26)$$

Siendo:

$R$  = Rango de cada operador.

$X_{m\acute{a}x}$  = Valor máximo medido.

$X_{m\acute{i}n}$  = Valor mínimo medido.

5. Se calcula el rango promedio de cada operador utilizando la siguiente ecuación:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (2.27)$$

Siendo:

$n$  = Número de mediciones realizadas por cada operador.

$R_i$  = Rango de cada operador.

6. Se calcula el rango promedio de todos los rangos por medio de la siguiente ecuación:

$$\bar{\bar{R}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{R}_i \quad (2.28)$$

Siendo:

$m$  = Número de operadores.

$\bar{R}_i$  = Rango promedio de cada operador.

7. Se calcula el porcentaje de la repetibilidad de las mediciones mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Repetibilidad} = \frac{K_1 \cdot \bar{\bar{R}}}{T} * 100\% \quad (2.29)$$

Siendo:

$K_1$  = Constante que depende del número de mediciones realizadas por cada operador y proporciona un intervalo de confianza de 99% para estas características (los valores se presentan en la tabla 2.5).

$T$  = Tolerancia de la característica medida.

$\bar{R}$  = Rango promedio de cada operador.

8. Se calcula la medición promedio de cada operador utilizando la siguiente ecuación:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{nr} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.30)$$

Siendo:

$n$  = Número de ensayos por operador.

$r$  = Número de partes.

$x_i$  = Cada medida del operador.

9. Se calcula la diferencia entre el promedio mayor y el promedio menor de los operadores por medio de la siguiente ecuación:

$$\bar{x}_D = x_{imáx} - x_{imín} \quad (2.31)$$

Siendo:

$x_{imáx}$  = Promedio mayor de los operadores.

$x_{imín}$  = Promedio menor de los operadores.

10. Se calcula el porcentaje de la reproducibilidad por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Reproducibilidad} = \frac{\sqrt{(K_2 \cdot \bar{x}_D)^2 - \frac{(K_1 \bar{R})^2}{nr}}}{T} * 100\% \quad (2.32)$$

Siendo:

$K_2$  = Constante que depende del número de operadores y proporciona un intervalo de confianza del 99% para estas características, los valores se

presentan en la tabla 2.5 y si el valor dentro de la raíz es negativo, el valor de reproducibilidad es cero.

$\bar{x}_D$  = Diferencia entre el promedio mayor y el promedio menor de los operadores.

$n$  = Número de ensayos por operador.

$r$  = Número de partes medidas.

$T$  = Tolerancia de la característica medida o equipo ensayado.

**Tabla 2.5 Valores de las constantes K1 y K2.**

Número de ensayos	2	3	4	5
K1	4,56	3,05	2,50	2,21
Número de operadores	2	3	4	5
K2	3,65	2,70	2,30	2,08

FUENTE: Llamosa, Meza & Botero (2007).

11. Se calcula el porcentaje de la relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad mediante la siguiente ecuación:

$$\%R\&R = \sqrt{(\%Repetibilidad)^2 + (\%Reproducibilidad)^2} \quad (2.33)$$

12. Se interpretan los resultados obtenidos en base a los criterios mostrados en la tabla 2.7.

### ***2.3.11.2.2 Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad mediante Análisis de Varianza (ANOVA).***

El procedimiento a seguir para el cálculo de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de análisis de varianza (ANOVA) es el siguiente:

El análisis inicia llenando la siguiente tabla 2.6 mostrada a continuación.

**Tabla 2.6 Análisis de varianza (ANOVA).**

Fuente de variación	Suma cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios
Operador	$SSA$	$a - 1$	$MSA = \frac{SSA}{a - 1}$
Partes	$SSB$	$b - 1$	$MSB = \frac{SSB}{b - 1}$
Interacción	$SSAB$	$(a - 1)(b - 1)$	$MSAB = \frac{SSAB}{(a - 1)(b - 1)}$
Error	$SSE$	$ab(n - 1)$	$MSE = \frac{SSE}{ab(n - 1)}$
Total	$SST$	$N - 1$	

FUENTE: Botero, Azbelález & Mendoza (2007).

Siendo:

$a$  = Número de operador.

$b$  = Número de partes medidas.

$n$  = Número de medidas para cada parte por cada operador.

$N$  = Número total de datos.

1. Calcular la suma total de todos los datos, como muestra la ecuación

$$T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n x_{ijk} \quad (2.34)$$

Siendo:

$x_{ijk}$  = Cada uno de los datos del experimento.

2. Calcular la suma del cuadrado de todos los datos por medio de la siguiente ecuación:

$$T_x^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2 \quad (2.35)$$

3. Calcular la suma de los cuadrados totales de combinaciones de factores dividido por el tamaño muestral mediante la siguiente ecuación:

$$T_c^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T_{ij}^2 \quad (2.36)$$

Siendo:

$T_{ij}$  = Suma de los datos de cada parte por operador.

4. Calcular la suma de los totales para el factor operadores y se divide por el espacio muestral respectivo por medio de la siguiente ecuación:

$$T_1^2 = \frac{1}{bn} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n T_{jk}^2 \quad (2.37)$$

Siendo:

$T_{jk}$  = Suma de los datos de cada operador.

5. Calcular la suma de los totales para el factor (Partes) y dividir por su tamaño muestral respectivo por medio de la ecuación:

$$T_2^2 = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n T_{ik}^2 \quad (2.38)$$

Siendo:

$T_{ik}$  = Suma de los datos de cada parte.

6. Calcular las sumas de los cuadrados por medio de las siguientes ecuaciones:

$$SSA = T_1^2 - \frac{T^2}{N} \quad (2.39)$$

$$SSB = T_2^2 - \frac{T^2}{N} \quad (2.40)$$

$$SSAB = T_C^2 + \frac{T^2}{N} - T_1^2 - T_2^2 \quad (2.41)$$

$$SSE = T_X^2 - T_C^2 \quad (2.42)$$

$$SST = T_X^2 - \frac{T^2}{N} \quad (2.43)$$

Una vez obtenida la tabla de ANOVA (tabla 2.6), se calcula la variación del sistema de medida, así:

7. Calcular la repetibilidad del sistema de medida por la siguiente ecuación.

$$r = 5,15\sqrt{MSE} \quad (2.44)$$

8. Determinar el porcentaje de repetibilidad por medio de la ecuación.

$$\%r = \frac{r}{T} * 100\% \quad (2.45)$$

Siendo:

$T$  = Tolerancia de la característica medida.

9. Calcular la reproducibilidad del sistema de medida mediante la siguiente ecuación:

$$R = 5,15 \sqrt{\frac{MSA - MSAB}{bn}} \quad (2.46)$$

*Nota: Si el término de la raíz es un número negativo, entonces la reproducibilidad es cero.*

10. Calcular el porcentaje de reproducibilidad mediante la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{R}{T} * 100\% \quad (2.47)$$

Siendo:

$T$  = Tolerancia de la característica medida.

11. Calcular la interacción entre los operadores y las partes mediante la siguiente ecuación:

$$I = 5,15 \sqrt{\frac{MSA - MSE}{n}} \quad (2.48)$$

*Nota: Si el término de la raíz es un número negativo, entonces la interacción entre operadores y partes es cero.*

12. Calcular el porcentaje de la interacción entre los operadores y las partes mediante la siguiente ecuación:

$$\%I = \frac{I}{T} * 100\% \quad (2.49)$$

Siendo:

$T$  = Tolerancia de la característica medida.

13. Calcular la relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad, así:

$$R\&R = \sqrt{r^2 + R^2 + I^2} \quad (2.50)$$

14. El porcentaje de la relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad está dado por la ecuación:

$$\%R\&R = \sqrt{\%r^2 + \%R^2 + \%I^2} \quad (2.51)$$

Finalmente se interpretan los resultados obtenidos en base a los criterios mostrados en la tabla 2.7.



**Tabla 2.7 Criterios de aceptabilidad del estudio de repetibilidad y reproducibilidad.**

<b>%R&amp;R</b>	<b>Aceptabilidad</b>
< 10 %	El sistema de medición es aceptable.
10% < R&R < 30%	El sistema de medición se acepta condicional y temporalmente dependiendo de la aplicación, el costo del dispositivo de medición, el costo de reparación u otros factores.
> 30%	El sistema de medición no es aceptable y requiere mejoras en cuanto al operador, equipo, método, condiciones, etc.

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

FUENTE: SAE (2017).

Una vez analizados e interpretados los resultados del estudio de repetibilidad y reproducibilidad, las posibles causas de la variación del sistema o instrumento, son:

- Si la repetibilidad es mayor que la reproducibilidad, las causas pueden ser: El instrumento necesita mantenimiento, el equipo requiere ser rediseñado para ser más rígido, el montaje o ubicación donde se realizaron las mediciones debe ser mejorado o, existe una variabilidad excesiva entre las partes.
- Si la reproducibilidad es mayor que la repetibilidad, las causas pueden ser: El operador necesita mejorar su habilidad para utilizar y leer el instrumento, la indicación del instrumento no es clara, no se han mantenido condiciones de reproducibilidad (condiciones del ambiente, montaje, etc.), o el instrumento de medición presenta deriva (Llamosa, Meza & Botero, 2007).

### **2.3.12 PRUEBAS INTERLABORATORIO.**

Entre las técnicas sugeridas por la ISO/IEC 17025:2017 para la determinación del desempeño de un método está la utilización de pruebas interlaboratorios: éstas son pruebas realizadas entre laboratorios utilizando material o dispositivos de medición similares de acuerdo a condiciones predeterminadas y, permiten evaluar el desempeño de los laboratorios participantes.

La pruebas interlaboratorios más usadas son:

- a) Pruebas de colaboración en las que los participantes son laboratorios cuya competencia técnica este demostrada y tienen como objetivo evaluar nuevos métodos de medición, validar métodos o certificar material de referencia.
- b) Pruebas de aptitud técnica en las que los laboratorios participan como parte de un proceso de acreditación para evaluar su competencia técnica y mejorar su desempeño analítico (Arvizu, Lara, Mitani & Reyes, 2008).

### **2.3.13 INCERTIDUMBRE.**

Adicional al concepto de incertidumbre mostrado en la sección 1.5.3, se añade que si bien, la palabra incertidumbre está generalmente ligada al concepto de duda, la incertidumbre de medida no indica duda respecto a la validez medida sino que, más bien, tener conocimiento de la incertidumbre implica una mayor confianza en la validez del resultado de una medición (GUM, 2018).

#### **2.3.13.1 Error e incertidumbre.**

##### ***2.3.13.1.1 Error aleatorio.***

El error aleatorio se debe a las variaciones de las magnitudes de influencia, dichas variaciones generan efectos aleatorios y dan lugar a variaciones en las observaciones repetidas del mesurando. Si bien, no es posible compensar el error aleatorio de un resultado, se lo puede reducir aumentando el número de observaciones realizadas (EURACHEM/CITAC, 2012).

##### ***2.3.13.1.2 Error sistemático.***

Según la EURACHEM/CITAC (2012), el error sistemático se define como la componente del error que permanece constante o varía de forma predecible a largo de una serie de análisis del mismo mensurando. No depende del número de observaciones realizadas, puede deberse por ejemplo, a una falta de control de las condiciones experimentales y, al igual que el error aleatorio, puede ser reducido.

### **2.3.13.1.3 Diferencia entre Error e Incertidumbre.**

Es importante diferenciar los términos “error” e “incertidumbre”, ya que, si bien, en ocasiones pueden ser interpretados como sinónimos, estos términos representan conceptos completamente diferentes.

El error se define como un valor único resultante de la diferencia entre el valor observado y el valor de referencia, mientras que la incertidumbre es un intervalo y si es determinada para un procedimiento y muestra definida, se la puede utilizar en otras aplicaciones bajo las mismas condiciones; a diferencia del error, no es necesario conocer el valor verdadero. (EURACHEM/CITAC, 2012).

### **2.3.13.2 Fuentes de Incertidumbre.**

Existen numerosas posibles fuentes de incertidumbre, entre las que se mencionan las siguientes:

- a) Definición incompleta del mesurando.
- b) Muestreo no representativo del mesurando.
- c) Efectos de matriz e interferencias.
- d) Condiciones ambientales.
- e) Condición de medida.
- f) Efectos del operador.
- g) Condiciones de almacenamiento.
- h) Incertidumbre de equipos másicos o volumétricos.
- i) Valores de referencia.
- j) Aproximaciones y asunciones incorporadas en el método de medida y procedimiento.
- k) Variaciones en la repetición de las observaciones del mesurando bajo condiciones supuestamente idénticas (GUM, 2008; EURACHEM/CITAC, 2012).

Las fuentes de incertidumbre pueden ser dependientes unas de otras aunque algunas de ellas pueden contribuir a otra.

El diagrama de causa o efecto también conocido como diagrama de Ishikawa o Espina de Pez, es una herramienta que cuenta con un sinnúmero de aplicaciones, ya que permite identificar y clasificar los distintos aspectos, para relacionar visualmente las interrelaciones existentes entre los efectos y las posibles causas de los mismos, tal como se muestra en la figura 2.10.

**Figura 2.10 Posibles fuentes de incertidumbre representadas en el diagrama Ishikawa.**



FUENTE: SAE (2016).

### 2.3.13.3 Incertidumbre estándar.

Todas las contribuciones de las incertidumbres deben ser expresadas como incertidumbre estándar, es decir, como desviaciones estándar, antes de ser combinadas (GUM, 2008).

La incertidumbre estándar de medida asociada al resultado de la medición “ $y$ ”, denotada como  $u(y)$ , se calcula como la desviación estándar del mesurando  $Y$ , a

partir de los valores estimados  $x_i$  de las magnitudes de entrada  $X_i$  y sus incertidumbres estándar asociadas  $u(x_i)$  (OAE, 2014).

Los componentes de la incertidumbre de medida asociada a las estimaciones de entrada se clasifican o agrupan en categorías “A” y “B”, la incertidumbre debida tanto a efectos aleatorios como sistemáticos puede calcularse en algunos casos por medio de una evaluación tipo “A” y en otros casos mediante una evaluación tipo “B”. El propósito de esta clasificación es mostrar las dos formas diferentes de evaluar las componentes de la incertidumbre mas no de mostrar algún tipo de diferencia de naturaleza entre componentes resultantes de ambos tipos de evaluación (GUM, 2008).

#### ***2.3.13.3.1 Evaluación tipo A de la incertidumbre estándar.***

La evaluación tipo A de la incertidumbre estándar es el método de evaluación de la incertidumbre que se lo lleva a cabo mediante el análisis estadístico de  $n$  ( $n > 1$ ) observaciones estadísticamente independientes de una magnitud de entrada  $X_i$  bajo condiciones iguales de medida.

Si la magnitud de entrada  $X_i$ , medida en varias ocasiones, es la magnitud  $Q$ , el valor estimado de esta magnitud es  $q$ , que es la media aritmética o promedio de todos los valores observados  $q_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ).

$$q = \bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_j \quad (2.52)$$

Siendo:

$q$  = Valor de la magnitud observada.

$q_j$  = Valores individuales de las observaciones realizadas.

$n$  = Número de observaciones realizadas.

$\bar{q}$  = Media aritmética de las observaciones realizadas.

La varianza experimental  $s^2(q)$  de las observaciones  $q_j$ , estimada de la varianza de distribución de probabilidad, viene dada por:

$$s^2(q) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (2.53)$$

Siendo:

$q_j$  = Valores individuales de las observaciones realizadas.

$n$  = Número de observaciones realizadas.

$\bar{q}$  = Media aritmética de las observaciones realizadas.

La varianza experimental de la media aritmética, es la mejor estimación de la varianza de la media aritmética  $q$ , y viene dado por:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q)}{n} \quad (2.54)$$

Siendo:

$s^2(\bar{q})$  = Varianza de la media aritmética.

$s^2(q)/n$  = Varianza experimental de la media aritmética.

La incertidumbre estándar  $u(q)$  asociada a la magnitud de entrada  $q$ , es igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza de la media aritmética denominada desviación estándar experimental de la media aritmética, dada por:

$$u(\bar{q}) = s(\bar{q}) \quad (2.55)$$

Cuando la medición está correctamente diseñada y bajo control estadístico, es posible que estas cuenten con una estimación de la varianza  $s_p^2$ , combinada o procedente de resultados previos. Cuando se determina el valor de la magnitud de entrada  $q$  mediante  $n$  observaciones independientes, la varianza experimental de la media aritmética  $\bar{q}$  se estima como:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s_p^2}{n} \quad (2.56)$$

*Nota: Para aplica la evaluación de tipo A, se debe contar con un número de mediciones repetidas  $n$  no menor a 10, en caso de no ser posible aumentar el número de observaciones, se deberá considerar otro método de evaluación de la incertidumbre estándar, ya que, en este caso la evaluación tipo A de la incertidumbre estándar, puede no ser fiable (OAE, 2014).*

### **2.3.13.3.2 Evaluación tipo B de la incertidumbre estándar.**

La evaluación tipo B de la incertidumbre estándar es el método de evaluación de la incertidumbre asociada a un estimado  $x_i$  de una magnitud de entrada  $X_i$ , que se lo lleva a cabo mediante un procedimiento distinto al análisis estadístico de una serie de observaciones, es decir, la evaluación de la incertidumbre estándar en este caso se basa en otro tipo de conocimientos tales como:

- datos obtenidos de mediciones anteriores;
- experiencia o conocimientos generales sobre el comportamiento de las propiedades de los materiales e instrumentos utilizados;
- especificaciones de los fabricantes;
- datos obtenidos de calibraciones y de otros certificados;
- incertidumbres asignadas a los datos de referencia obtenidos de manuales (OAE, 2014).

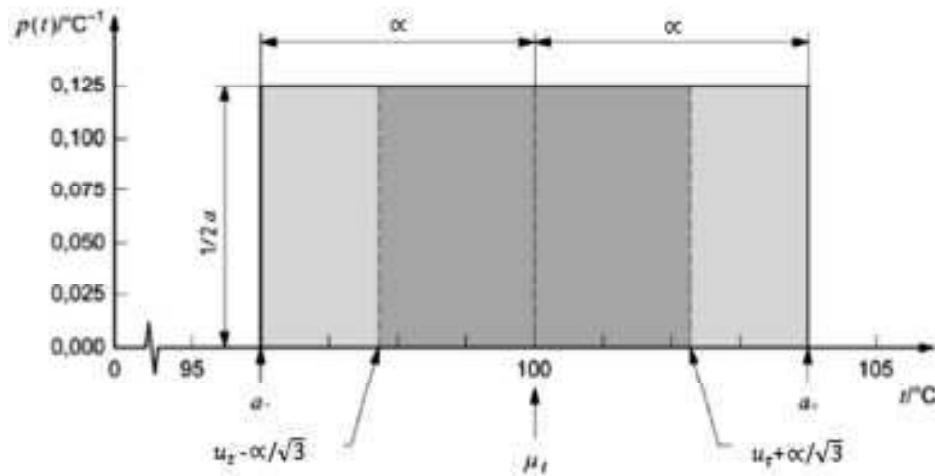
El objetivo final de la evaluación tipo B es el de presentar la respectiva componente de incertidumbre en forma de desviación estándar al igual que la evaluación tipo A; esto con el fin de que al final puedan ser combinadas.

La EURACHEM/CITAC (2012) muestran algunas reglas para convertir una componente de incertidumbre en desviación estándar en evaluaciones tipo B, éstas son:

- a) Cuando se tienen resultados y datos previos y en estos la incertidumbre expandida se presenta como un intervalo de confianza  $\pm\alpha$  con un nivel de confianza  $p\%$ , la desviación estándar se calcula dividiendo  $\alpha$  para el valor del factor de cobertura tabulado para un nivel de confianza dado de la distribución Normal.

- b) Si la incertidumbre es presentada como un intervalo de confianza  $\alpha$  sin un nivel de confianza  $p\%$ , y se tienen razones para creer que existen valores extremos, se asume una distribución rectangular (figura 2.11) y la desviación estándar se calcula como  $\alpha/\sqrt{3}$ .

**Figura 2.11 Distribución rectangular.**

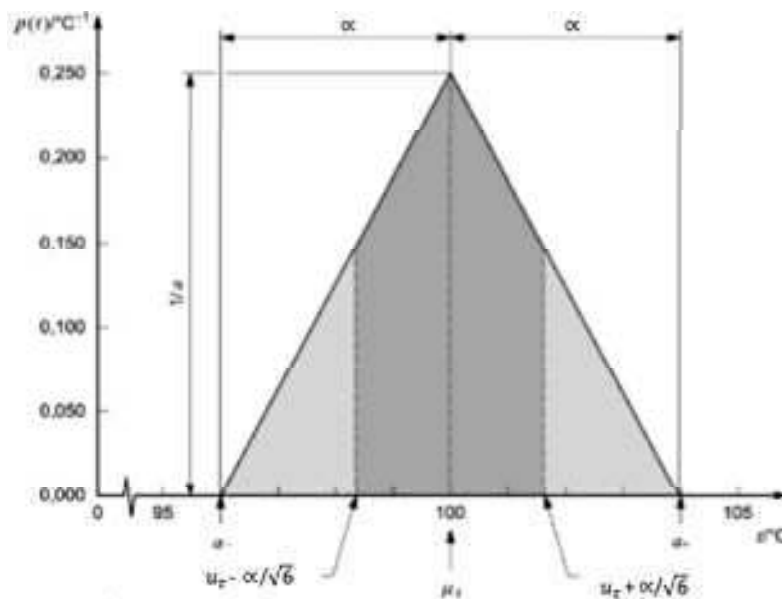


Fuente: GUM (2008).

- c) Si por el contrario, en el caso anterior, es poco probable la existencia de valores extremos, se considera una distribución triangular (figura 2.12) y la desviación estándar se calcula como  $\alpha/\sqrt{6}$ .



**Figura 2.12 Distribución triangular.**



Fuente: GUM (2008).

#### 2.3.13.4 Incertidumbre estándar combinada.

Una vez estimados los componentes individuales o grupos de componentes de la incertidumbre estándar, se procede a calcular la incertidumbre estándar combinada  $u_c(y)$ , ésta es igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza combinada  $u_c^2(y)$ , ésta se relaciona con los parámetros independientes ( $x_1, x_2, \dots$ ), así:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 u(x_i)^2} \quad (2.57)$$

La magnitud  $u_i(y)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), es la incertidumbre estándar combinada asociada a la magnitud de entrada  $x_i$ , dada por:

$$u_i(y) = c_i u(x_i) \quad (2.58)$$

El coeficiente  $c_i$  es el coeficiente de sensibilidad asociado a la estimación de entrada  $x_i$ , éste es igual a la derivada parcial de la función modelo  $f$  respecto a  $X_i$ , dado por:

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial X_i} \Big|_{X_1=x_1 \dots X_N=x_N} \quad (2.59)$$

Según la EURACHEM/CITAC (2012), para combinar la incertidumbre estándar, en los casos más sencillos y que suelen ser los más comunes, existen dos reglas de se muestran a continuación:

- a) La incertidumbre estándar combinada  $u_c(y)$ , para modelos que se tenga únicamente una suma o resta de cantidades ( $y=(p+q+r,..)$ ), está dada por:

$$u_c(y(p, q, ..)) = \sqrt{u(p)^2 + u(q)^2 + \dots} \quad (2.60)$$

- b) La incertidumbre estándar combinada  $u_c(y)$ , para modelos que se tenga un producto o cociente de cantidades ( $y=(p \cdot q \cdot r \cdot ..)$  ó  $y=p/(q \cdot r \cdot ..)$ ), está dada por:

$$u_c(y) = y \sqrt{\left(\frac{u(p)}{p}\right)^2 + \left(\frac{u(q)}{q}\right)^2 + \dots} \quad (2.61)$$

### 2.3.13.5 Incertidumbre Expandida.

La incertidumbre expandida ( $U$ ) es la etapa final en el cálculo de la incertidumbre, se obtiene de multiplicar la incertidumbre estándar combinada  $u_c(y)$  por un factor de cobertura  $k$  escogido; esta incertidumbre proporciona un intervalo que se espera comprenda una gran fracción de la distribución de los valores que pueden ser atribuido al mesurando (EURACHEM/CITAC, 2012).

$$U = k u_c(y) \quad (2.62)$$

El resultado de una medición se expresa como:

$$Y = y \pm U \quad (2.63)$$

Esto se interpreta como que la mejor estimación del mesurando  $Y$  es  $y$ , y se espera que dentro del intervalo  $y + U$  a  $y - U$  éste contenida una importante

fracción de la distribución de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mesurando  $Y$  (GUM, 2008).

El factor de cobertura  $k$ , normalmente puede tomar valores entre 2 y 3 para una distribución normal, con un nivel de confianza de 95 a 99% respectivamente (GUM, 2008). Cuando no es posible atribuir una distribución normal al mesurando, pero los componentes de la incertidumbre ( $N \geq 3$ ) derivan de distribuciones de probabilidad bien definidas (normal o rectangular) y contribuyen considerablemente a la incertidumbre estándar total, se cumple el Teorema del Límite Central y se puede asumir, con un alto grado de certeza, que la distribución de probabilidad del mesurando es normal (OEA, 2014).

En aplicaciones especiales, el factor de cobertura puede tomar valores diferentes fuera del rango mencionado, para dichos casos, éste deberá ser seleccionado de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Nivel de confianza requerido.
- Tipo de distribución de probabilidad que se presenta.
- Valores usados para el cálculo de efectos aleatorios.
- Grados de libertad efectivos.

Cuando la incertidumbre estándar combinada tiene una sola contribución con menos de 6 grados de libertad, se recomienda tomar un valor de  $k$  igual al valor de la  $t$  de Student para dos colas, para el número de grados de libertad que se tenga y para el nivel de confianza requerido, este último normalmente suele ser del 95% (EURACHEM/CITAC, 2012).

A continuación se muestran tabulados valores del factor de cobertura obtenidos en función de distintos niveles de confianza, para las distribuciones de probabilidad normal (tabla 2.8), triangular (tabla 2.9) y rectangular (tabla 2.10), siendo éstas, las distribuciones de probabilidad más comunes.

**Tabla 2.8 Factor de cobertura para una distribución normal.**

Nivel de confianza $p$ (%)	Factor de cobertura $k$
68,27	1
90	1,645
95	1,960
95,45	2
99	2,576
99,73	3

FUENTE: Hernández (2012).

**Tabla 2.9 Factor de cobertura para una distribución triangular.**

Nivel de confianza $p$ (%)	Factor de cobertura $k$
98,32	1,4
95	1,9
99	2,2
100	2,4

FUENTE: Hernández (2012).

**Tabla 2.10 Factor de cobertura para una distribución rectangular.**

Nivel de confianza $p$ (%)	Factor de cobertura $k$
57,74	1
95	1,65
99	1,71
100	1,73

FUENTE: Hernández (2012).

**2.3.13.6 Expresión de la incertidumbre.**

El objetivo final en el presente trabajo, en lo que respecta al cálculo de la incertidumbre, es la expresión de la magnitud sujeta a medición que es la resistencia a la compresión simple del hormigón, junto con la incertidumbre expandida de dicha medición, por ello, a continuación se muestran pautas para la expresión de la misma.

El resultado de la magnitud sujeta a medición ( $y$ ), debe ser reportado junto con la incertidumbre expandida  $U$  calculada usando un factor de cobertura  $k$  (EURACHEM/CITAC, 2012) de acuerdo a la sección 2.3.13.5, siguiendo el siguiente formato:

$$\text{" Resultado = } y \pm U \text{ (unidades) " } \quad \text{(2.64)}$$

Para expresar la incertidumbre en sí, se necesitan dos parámetros que son: el valor numérico o intervalo ( $U$ ) dentro del cual puede estar contenido el mensurando " $y$ " y el otro parámetro es el nivel de confianza que indica qué tan seguro es que el valor verdadero se encuentre dentro de ese intervalo (SAE, 2016), es por esto que, al resultado se deberá también, adjuntar una aclaración como la siguiente:

*"La incertidumbre informada es una incertidumbre expandida calculada usando un factor de cobertura  $k$ , que proporciona un nivel de confianza de aproximadamente  $p\%$ ".*

Los valores numéricos tanto del resultado como de la incertidumbre, no deben contener un excesivo número de dígitos, por lo general, para expresar el valor numérico de la incertidumbre, se recomienda usar dos cifras significativas (GUM, 2008).

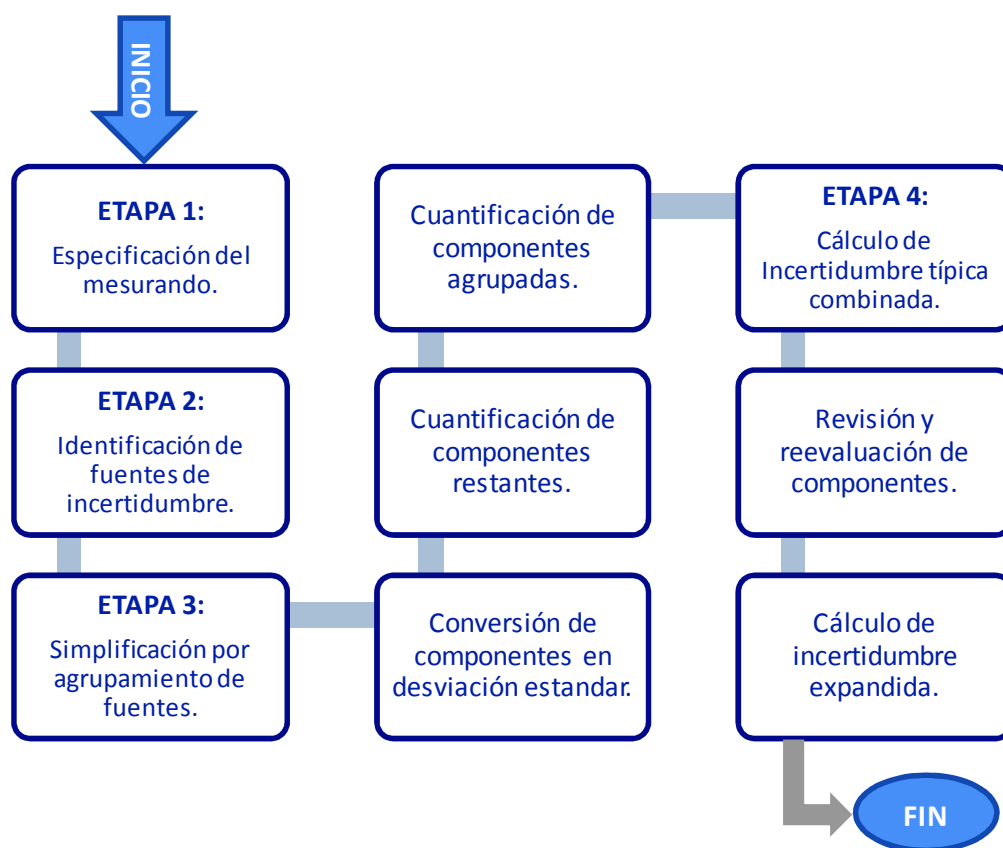
Según la GUM (2008), cuando el resultado de una medición va acompañado de la incertidumbre expandida, se debe siempre, incluir la siguiente información:

- Descripción completa y detallada de cómo se realizó la definición del mensurando  $Y$ .
- Expresa el resultado según el formato de la ecuación 2.64.
- Indicar cómo se determinó el nivel de confianza asociado al resultado.
- Indicar la incertidumbre expandida relativa, cuando se requiera.
- Indicar el valor de  $k$  utilizado para calcular  $U$  e indicar el valor de la incertidumbre combinada  $u_c(y)$ , esta última en caso de que el cliente la requiera.

### 2.3.13.7 Proceso de Estimación de la Incertidumbre de Medida.

Una vez habiendo revisado los diferentes parámetros y aspecto referentes a la incertidumbre en las secciones anteriores; a continuación se muestra una esquematización (figura 2.13) y resumen de los pasos a seguir para el cálculo de la incertidumbre de medida asociada a un resultado de medida, esto según las recomendaciones de la EURACHEM/CITAC (2012).

**Figura 2.13 Esquematización del proceso de cálculo de la incertidumbre.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

FUENTE: EURACHEM/CITAC (2012).

#### 2.3.13.7.1 Etapa 1.

Se realiza la definición de la magnitud a ser medida, dicha definición deber ser lo más clara posible y expresar cuantitativamente la relación entre el valor del

mesurando y los parámetros de los que depende, estos último pueden ser constantes u otros mensurando que no se miden directamente.

Una adecuada definición del mesurando debe incluir la base de cálculo del mismo, es decir, especificar las condiciones y consideraciones que se tomaron en cuenta en el cálculo del mesurando.

Se deberá aclarar si el muestreo se incluye o no dentro del procedimiento de cálculo del resultado medio, ya que, de ser así, se deberá considerar la incertidumbre asociada al muestreo.

#### ***2.3.13.7.2 Etapa 2.***

Se cuantifican las fuentes de incertidumbre, para lo cual, es adecuado empezar por la expresión básica utilizada para el cálculo del valor del mesurando. Los parámetros en esta expresión pueden tener una incertidumbre asociada a su valor y, por lo tanto, representar una fuente potencial de incertidumbre. También puede haber otros parámetros que no se encuentre explícitamente en dicha expresión, pero afectan a la medida y además aportan a la incertidumbre.

El uso del diagrama de causa y efecto ó diagrama de Ishikawa, mostrado en la sección 2.3.13.2, permite enlistar las fuentes de incertidumbre de una manera práctica, mostrando como se relacionan mutuamente y cómo influyen en la incertidumbre del resultado. Cada fuente de incertidumbre enlistada tiene un efecto que está relacionado con un parámetro o variable de la ecuación, la forma de expresión de dicha ecuación determina el método para combinar las contribuciones individuales de la incertidumbre. Algunas de las estándar fuentes de incertidumbre se enlistan en la sección 2.3.13.2.

#### ***2.3.13.7.3 Etapa 3.***

Las fuentes de incertidumbre identificadas, se agrupan y se simplifican para posteriormente proceder a expresar cada una de ellas como una desviación estándar utilizando ya sea una evaluación tipo A o tipo B, dependiendo de la naturaleza de la fuente.

#### **2.3.13.7.4 Etapa 4.**

Una vez que habiendo expresado como desviación estándar todas las fuentes de incertidumbre cuantificadas asociadas con fuentes individuales o con efectos combinados de varias fuentes, éstas se combinan entre sí, se realiza una revisión, y si es necesario, se reevalúan las componentes mayores. Finalmente se calcula la incertidumbre expandida mediante una adecuada selección del factor de cobertura de acuerdo a lo indicado en la sección 2.3.13.5, ésta debe ser expresada de acuerdo a lo indicado en la sección 2.3.13.6.

### **2.4 PRUEBAS DE SIGNIFICACIÓN.**

Las pruebas de significación permiten comparar parámetros entre distintas muestras, medias o varianzas, y determinar si difieren estadísticamente o no, para distribuciones normales se aplican pruebas paramétricas y si se tiene un tipo de distribución diferente a la normal entonces se aplican pruebas no paramétricas; cabe recalcar que este primer tipo de pruebas proporcionan información de gran utilidad por lo que, de ser posible, se las debe preferir (Gómez & Gutiérrez, 2001).

La aplicación de pruebas de significación es muy útil durante el proceso de validación de métodos analíticos, generalmente se aplican las siguientes:

- Prueba F-Fisher para identificar errores aleatorios relacionados con la precisión.
- Prueba t-student para identificar errores sistemáticos relacionados con el sesgo.

En las pruebas de significación estadística siempre se plantean dos hipótesis:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Asegura que no hay diferencias significativas entre los estadísticos de las muestras comparadas.
- Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ): Asegura que hay diferencias significativas entre los estadísticos de las muestras comparadas.

Se dice que una diferencia es estadísticamente significativa cuando la diferencia no se debe al azar y es representativa.



La hipótesis alternativa determina el número de colas, si ésta contiene la frase “mayor que” ó “menor que”, la prueba es de una cola, si por el contrario, solo contiene la frase “no es igual que”, la prueba es de dos colas (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010).

#### 2.4.1 PRUEBA F.

La prueba f permite probar múltiples hipótesis dentro de la estadística aplicada, una de ellas es la hipótesis nula ( $H_0$ ) de que las medias de varias poblaciones normalmente distribuidas y con la misma desviación estándar son iguales. Esta es la hipótesis más conocida probada con el test F, el problema más sencillo del análisis de varianza. Permite también probar la hipótesis de que las desviaciones estándar de dos poblaciones normalmente distribuidas son iguales (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010).

Según el SAE (2017), entre las múltiples aplicaciones de la prueba f, están las siguientes:

- Comprobar que dos métodos son igual de precisos.
- Comprobar que las varianzas son iguales para determinar el tipo de test de comparación de medias a utilizar.
- Comprobar que en la reproducibilidad no intervienen factores diferentes a los encontrados en los estudios de reproducibilidad.

##### 2.4.1.1 Metodología de Cálculo.

- Determinar los grados de libertad de cada conjunto de datos a ser analizado.

Grados de libertad del conjunto de datos 1 =  $n_1 - 1$

Grados de libertad del conjunto de datos 2 =  $n_2 - 1$

- Determinar la varianza de cada conjunto de datos y dividir la más grande para la más pequeña, para encontrar  $F_{calculado}$ , así:

$$F_{calculado} = \frac{\text{Varianza mayor}}{\text{Varianza menor}} \quad (2.65)$$

- Encontrar  $F_{critico}$  de las tablas ingresando en la fila horizontal los grados de libertad de la varianza mayor y en la columna, el número de grados de libertad

de la varianza menor. En el anexo I se muestra la tabla que permite obtener los valores de  $F_{crítico}$ .

- Se compara  $F_{crítico}$  y  $F_{calculado}$ , si  $F_{calculado}$  es menor que  $F_{crítico}$  entonces se admite la hipótesis nula  $H_0$ . Esto significa que no existen diferencias significativas entre las muestras comparadas.

#### 2.4.2 PRUEBA t DE STUDENT.

La prueba t de Student es una prueba de significación paramétrica que permite comparar las medias de dos conjunto de datos, como se observa en la tabla 2.11; y determinar si entre estos parámetros las diferencias son estadísticamente significativas.

**Tabla 2.11 Conjunto de datos a comparar.**

Conjunto	Media	Varianza	Número de datos
1	$\bar{x}_1$	$s_1^2$	$n_1$
2	$\bar{x}_2$	$s_2^2$	$n_2$

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

FUENTE: SAE (2017).

Para la realización de la prueba, se inicia por determinar el valor de t-student calculado, este valor se compara con el denominado t crítico también conocido como t tabulado, que se obtiene de la tabla t-student para un determinado porcentaje de confiabilidad. Normalmente se usa un nivel de confianza de 95%, es decir; un  $\alpha$  igual a 0,05 (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010).

Si  $t_{calculado}$  es menor que  $t_{crítico}$ , no existen diferencias significativas entre los parámetros de las muestras comparadas. Se admite la hipótesis nula, esto es que:

$$H_0: u_1 = u_2 \quad (2.66)$$

Si  $t_{calculado}$  mayor que  $t_{crítico}$ , existen diferencias significativas entre los parámetros de las muestras comparadas. Se admite la hipótesis alternativa, esto es que:

$$H1: u1 \neq u2 \quad (2.67)$$

En el anexo II se muestra la tabla que permite obtener el valor de  $t_{\text{crítico}}$ .

#### 2.4.2.1 Metodología de Cálculo.

Se comprueba si las varianzas de los dos conjuntos de datos son o no iguales mediante la prueba F.

- Si  $s_1^2 = s_2^2$ , se calcula una varianza promedio, así:

$$s^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (2.68)$$

Siendo:

$n_1$  = Número de datos del conjunto 1.

$n_2$  = Número de datos del conjunto 2.

$s_1^2$  = Varianza del conjunto 1.

$s_2^2$  = Varianza del conjunto 2.

$t_{\text{calculado}}$  es igual a:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{s^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (2.69)$$

Siendo:

$n_1$  = Número de datos del conjunto 1.

$n_2$  = Número de datos del conjunto 2.

$\bar{x}_1$  = Media aritmética del conjunto 1.

$\bar{x}_2$  = Media aritmética del conjunto 2.

$s^2$  = Varianza promedio.

El número de grados de libertad para cada grupo es igual a  $n-1$  y, el número de grados de libertad utilizado para la prueba de significación es igual al tamaño muestral total menos dos  $((n_1+n_2)-2)$ .

Una vez obtiene el valor de  $t_{calculado}$  con  $(n_1+n_2)-2$  grados de libertad, se compara este valor con el valor tabulado  $t(0,05; (n_1+n_2)-2)$ .

- Si  $s_1^2 \neq s_2^2$ , se obtiene  $t_{calculado}$  así:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (2.70)$$

Siendo:

$n_1$  = Número de datos del conjunto 1.

$n_2$  = Número de datos del conjunto 2.

$\bar{x}_1$  = Media aritmética del conjunto 1.

$\bar{x}_2$  = Media aritmética del conjunto 2.

$s_1^2$  = Varianza del conjunto 1.

$s_2^2$  = Varianza del conjunto 2.

Los grados de libertad se calculan así:

$$v_{eff} = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{s_1^4}{n_1^2(n_1-1)} + \frac{s_2^4}{n_2^2(n_2-1)}\right)} \quad (2.71)$$

Siendo:

$n_1$  = Número de datos del conjunto 1.

$n_2$  = Número de datos del conjunto 2.

$s_1^2$  = Varianza del conjunto 1.

$s_2^2 =$  Varianza del conjunto 2.

El valor de  $t_{calculado}$  se compara con el valor tabulado t (0,05; (n1+n2)-2) que se obtiene de la tabla mostrada en el anexo II.

### 2.4.3 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).

El análisis de varianza, también conocido como ANOVA (Analysis of variance), es un análisis estadístico que permite comparar más de dos medias entre sí, para esto, se debe comparar las diferencias entre cada grupo. En general, el análisis de varianzas ayuda a expandir la aplicación de las pruebas de significación (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010).

Cuando los resultados pueden ser agrupados por analista, por laboratorio o por método, etc., la variación total del conjunto de resultados puede ser calculada por la combinación de las varianzas dentro-grupos y entre-grupos. El ANOVA de un solo factor es la forma más simple del análisis de varianza, se emplea cuando se considera una sola variable o factor, un analista, un método, una misma temperatura; cuando se consideran dos variable o factores se emplea el ANOVA de dos factores, por ejemplo: temperatura y tiempo (SAE, 2017).

#### 2.4.3.1 Metodología de Cálculo.

Para  $n'$  grupos estudiados con  $n$  observaciones para cada grupo:

**Tabla 2.12 Grupos y observaciones por grupo.**

n = Observaciones	n' = Grupos			
	Grupo a	Grupo b	Grupo c	.....Grupo n'
1	$x_{a1}$	$x_{b1}$	$x_{c1}$	$x_{n'1}$
2	$x_{a2}$	$x_{b2}$	$x_{c2}$	$x_{n'2}$
3	$x_{a3}$	$x_{b3}$	$x_{c3}$	$x_{n'3}$
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
n	$x_{an}$	$x_{bn}$	$x_{cn}$	$x_{n'n}$

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: Instituto de Salud Pública de Chile (2010).

- Calcular el número de observaciones totales ( $N = n' \cdot n$ ).

- Calcular la sumatoria de las observaciones de cada grupo.

**Tabla 2.13 Sumatoria de las observaciones de cada grupo.**

Grupo a	Grupo b	Grupo c	...Grupo n'	Cálculo
$\Sigma x_a$	$\Sigma x_b$	$\Sigma x_c$	$\Sigma x_{n'}$	$\Sigma x_i$
$\Sigma(x_{a1}^2 + x_{a2}^2 + \dots)$	$\Sigma(x_{b1}^2 + x_{b2}^2 + \dots)$	$\Sigma(x_{c1}^2 + x_{c2}^2 + \dots)$	$\Sigma(x_{n'1}^2 + x_{n'2}^2 + \dots)$	$\Sigma x_i^2$

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: Instituto de Salud Pública de Chile (2010).

- Calcular la suma total de los cuadrados, así:

$$SDC_T = \Sigma x_i^2 - \frac{(\Sigma x_i)^2}{N} \quad (2.72)$$

Siendo:

$N$  = Número total de observaciones.

$\Sigma x_i$  = Sumatoria de las sumatorias de las observaciones de cada grupo.

$\Sigma x_i^2$  = Sumatoria de las sumatorias de los cuadrados de las observaciones de cada grupo.

- Calcular los grados de libertad totales, así:

$$gl_{totales} = N - 1 \quad (2.73)$$

Siendo:

$N$  = Número total de observaciones.

- Calcular la suma de los cuadrados entre grupos, así:

$$SDC_B = \frac{(\Sigma x_A)^2}{n_A} + \frac{(\Sigma x_B)^2}{n_B} + \frac{(\Sigma x_C)^2}{n_C} + \frac{(\Sigma x_{n'})^2}{n_{n'}} - \frac{(\Sigma x_i)^2}{N} \quad (2.74)$$

Siendo:

$\Sigma x_A, \Sigma x_B, \Sigma x_C, \dots$  = Sumatoria de observaciones del grupo.

$n_A, n_B, n_C, \dots$  = Número de observaciones del grupo.

$N$  = Número total de observaciones.

$\sum xi$  = Sumatoria de las sumatorias de las observaciones de cada grupo.

- Calcular los grados de libertad entre grupos, así:

$$gl_B = n' - 1 \quad (2.75)$$

$n'$  = Número de grupos.

- Calcular la suma de cuadrados residuales o dentro del grupo, así:

$$SDC_W = SDC_T - SDC_B \quad (2.76)$$

Siendo:

$SDC_T$  = Suma total de los cuadrados.

$SDC_B$  = Suma de los cuadrados entre grupos.

- Calcular los grados de libertad dentro del grupo, así:

$$gl_W = gl_{totales} - gl_B \quad (2.77)$$

Siendo:

$gl_B$  = Grados de libertad entre grupos.

- En resumen, se tiene:

**Tabla 2.14** Tabla resumen de cálculos de ANOVA.

Origen de la Varianza	Grados de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SDC)	Diferencia de cuadrados medios (DCM).
Entre grupos (B)	$gl_B$	$SDC_B$	$DCM_B = SDC_B / gl_B$
Dentro del grupo (W)	$gl_W$	$SDC_W$	$DCM_W = SDC_W / gl_W$
Total (T)	$gl_{totales}$	$SDC_T$	$DCM_T = SDC_T / gl_{totales}$

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

FUENTE: Instituto de Salud Pública de Chile (2010).

- Aplicar prueba F, así:

$$F_{\text{calculado}} = \frac{DCM_B}{DCM_W} \quad (2.78)$$

Siendo:

$DCM_B$  = Varianza entre grupos.

$DCM_W$  = Varianza dentro del grupo.

Se determina  $F_{\text{crítico}}$  de la tabla F que se muestra en el anexo I, colocando los grados de libertad del numerador en la fila horizontal y los grados de libertad del denominador en la columna. Se comparan los valores de F y si no hay diferencias significativas, se procede a la aplicación de la prueba t.

## **2.5 DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN.**

A continuación, se desarrolla una primera propuesta para el procedimiento de validación en base a las especificaciones presentadas en la sección 1.5.2.9 hasta esta instancia, se han desarrollan en su totalidad los siete primeros puntos del procedimiento de validación ya que para los últimos cuatro puntos del procedimiento se requiere de los resultados de los ensayos y del procesamiento estadístico de estos, los que se obtienen solo hasta la sección correspondiente.

### **1. ESTABLECER LA NECESIDAD ANALÍTICA.**

La necesidad analítica del cliente radica en conocer la calidad del hormigón que está usando en una estructura específica, siendo éste, uno de los materiales más usados en el sector de la construcción. Dentro de este contexto, siendo la resistencia a la compresión la propiedad más importante del hormigón, en los laboratorios se realizan ensayos para medir esta propiedad y asegurar así, la calidad y durabilidad de las estructuras construidas con dicho material. En ciertos casos, se lleva a cabo la realización de ensayos en el hormigón como un formalismo, sin embargo, este procedimiento es un importante requisito en



licitaciones para obtención de certificaciones, además que, la información obtenida permite llevar a cabo una buena ejecución del proceso constructivo.

## **2. MÉTODO.**

En el LEMSUR, el método de ensayo disponible que permite resolver la necesidad analítica planteada, es el propuesto por la ASTM C39/C39M-18 “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, por lo que, tomando en cuenta la referencia mencionada como la principal, el procedimiento de ensayo planteado, es el mostrado a continuación.

## **3. BORRADOR DEL PROCEDIMIENTO.**

### **3.1. Objetivo.**

El presente procedimiento tiene como objeto describir de forma detallada el método de ensayo, para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.

### **3.2. Alcance.**

Este procedimiento se aplica a especímenes cilíndricos moldeados de hormigón de cemento hidráulico, cuya densidad debe ser mayor a  $800 \text{ Kg/m}^3$ , para un rango de resistencia de  $100 \text{ Kg/cm}^2$  a  $450 \text{ Kg/cm}^2$ .

Los resultados de este método de ensayo se utilizan como base para control de calidad de la dosificación del hormigón, operaciones de mezclado y colocación del mismo; determinación del cumplimiento de las especificaciones; control para evaluación de la efectividad de aditivos; y usos similares.

### **3.3. Referencias.**

Se han tomado como referencia para la elaboración de este procedimiento de ensayo las normas indicadas a continuación:

- ASTM C39/C39M-18. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C617-15. Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens.

### 3.4. Definiciones.

- **Máquina de ensayo:** Máquina que aplica una carga axial de compresión a los especímenes cilíndricos de prueba.
- **Carga de Impacto:** Se denomina carga de impacto a la carga momentánea e instantánea generada por un efecto dinámico.
- **Resistencia:** Capacidad que tiene un cuerpo para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, deformarse o dañarse.
- **Compresión:** Presión a la que está sometido un cuerpo por la acción de fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen.
- **Resistencia a la compresión:** Esfuerzo máximo que puede soportar un espécimen de prueba bajo la aplicación de una carga de aplastamiento.
- **Refrentado:** Recubrimiento de mortero de azufre puro que se aplica en los extremos de los cilindros, con la finalidad de obtener superficies planas, sobre las cuales se aplican las cargas según los requerimientos del ensayo.

### 3.5. Descripción.

#### 3.5.1. Parámetros y rangos.

Los parámetros a ser evaluados mediante el método planteado son la resistencia a la compresión y la densidad del hormigón, los rangos de estos parámetros, dentro de los cuales aplica este procedimiento de ensayo, son los mostrados a continuación en la tabla 2.15.

**Tabla 2.15 Parámetros y rango del procedimiento de ensayo.**

Parámetro	Rango	Unidades
Resistencia	10 - 45	MPa
Densidad	>800	kg/m <sup>3</sup>

FUENTE: LEMSUR (2017).

#### 3.5.2. Aparatos y equipos.

- **Máquina de ensayo:** La máquina debe contar con la capacidad suficiente para aplicar la carga continuamente y sin impacto. La carga debe ser aplicada a una velocidad de movimiento, medida desde la platina a la

cruceta, correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de  $2.5 \pm 0.5 \text{ Kg/cm}^2/\text{s}$ .

La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga de acero con caras endurecidas, el uno es un bloque esférico que se asienta en la superficie superior de la probeta y el otro es un bloque sólido sobre el cual se asienta el espécimen. Las caras de contacto de los bloques de carga deben tener una dimensión mínima de al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen de ensayo. Si el diámetro del bloque esférico es mayor para el diámetro del espécimen por más de 13 mm, debe tener inscritos círculo concéntricos, opcionales para el bloque inferior, de no más de 0,8 mm de profundidad y no más de 1 mm de ancho, para realizar un centrado adecuado del espécimen.

- **Balanza:** Debe tener una precisión dentro del 0.3% de la masa que está siendo medida.
- **Vernier:** Instrumento de precisión usado para medir pequeñas longitudes, consiste en una escala base graduada en milímetros. También es llamado Pie de Rey.
- **Olla de capping:** Es un recipiente que permite fundir y mantener la temperatura de compuestos de refrentado, parafinas y ceras.

### 3.5.3. Patrones y materiales de referencia.

Los patrones y materiales de referencia utilizados en el procedimiento de ensayo son los mostrados a continuación en la tabla 2.16.

**Tabla 2.16 Magnitudes y patrones de referencia.**

Magnitud	Patrón de referencia
Fuerza	Celda de carga
Masa	Pesas patrón
Longitud	Bloques patrón

FUENTE: LEMSUR (2017).

### 3.5.4. Condiciones ambientales y periodos de estabilización

No aplica para realizar el ensayo de compresión de cilindros, sin embargo, si se requiere determinar la densidad del cilindro calculado el volumen del espécimen a

partir del diámetro promedio y la longitud promedio, o determinado mediante la obtención de su masa al aire y sumergido a  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , en  $\text{m}^3$ .

### **3.5.5. Operador del ensayo.**

El personal encargado del ensayo de cilindros para aceptación del hormigón, debe cumplir con los requisitos de técnico de laboratorio de hormigón de la norma ASTM C 1077 y aprobar una demostración de su desempeño. Este requisito se cumple con una certificación de Técnico de Laboratorio de Concreto de ACI, Nivel I ó Técnico de Ensayo de Resistencia de Concreto de ACI.

### **3.5.6. Procedimiento.**

#### **3.5.6.1. Identificación de muestras.**

Previo el ensayo, las muestras deben ser debidamente identificadas mediante marcas (# orden de trabajo: PG-03- PEDIDOS, OFERTAS Y CONTRATO) que faciliten la identificación de cada una.

Los ensayos de compresión se los realiza según su origen:

- Muestras tomadas en obra, posteriormente curadas.
- Muestras traídas por clientes que requieren curado.
- Muestras traídas por clientes no requieren curado.

#### **3.5.6.2. Verificación del adecuado funcionamiento de equipos.**

Uno de los factores importantes que determinan la exactitud y confiabilidad de los ensayos, es la calidad de los equipos, por lo que, es importante que todos los equipos sean sometidos a procesos de mantenimiento, calibración y verificación de la calibración periódicamente.

La verificación de calibración de la máquina de ensayo, se recomienda realizarla cada 4 meses, bajo las siguientes condiciones:

- En la instalación original o inmediatamente después que haya sido trasladada.
- Cuando se sospeche de la precisión de las cargas indicadas.

- Después de que se hayan efectuado reparaciones o ajustes que afecten la operación del sistema de aplicación de fuerza.

### **3.5.6.3. Verificación de condiciones y dimensionamiento de los especímenes.**

- Se verifica que las superficies de los extremos de los cilindros no presenten irregularidades, mediante el uso de escuadras y láminas de diferentes espesores (la carga de compresión debe ser aplicada en superficies completamente perpendiculares a esta). En caso de presentar irregularidades se procede a colocar refrentado en las superficies laterales de los cilindros.
- Se debe también verificar la perpendicularidad de los extremos de los cilindros con los ejes.
- Tomar las dimensiones de los especímenes, éstas son: dos diámetros medidos alrededor de la altura media formando ángulos rectos entre sí, tres alturas espaciadas alrededor del diámetro y el peso del espécimen retirando cualquier tipo de humedad superficial existente.

### **3.5.6.4. Refrentado de muestras de ensayo.**

- Se prepara el mortero de sulfuro por calentamiento a una temperatura aproximada de 130 a 145 °C.
- Se calienta el plato de refrentado a una temperatura de 20 a 30 °C, se verifica que este se encuentre limpio y libre de rugosidades y se lo aceita ligeramente.
- Una vez derretido el sulfuro, batir completamente antes de colocar en el plato de refrentado.
- Verificar que la cara del espécimen esté libre de gasas, aceites y asegurarse que no contengan exceso de humedad.
- Con la ayuda de un cucharón u otro dispositivo adecuado, colocar el mortero de sulfuro derretido en el plato de refrentado e inmediatamente colocar el espécimen de forma perpendicular al plato.

- Chequear que la capa de mortero esté completamente expandida y no contenga espacios vacíos, ésta no debe exceder los 3 mm de espesor desde la irregularidad más profunda hasta la superficie plana.
- Verificar la planitud de la capa de sulfuro, con el uso de escuadras o láminas y colocar el espécimen capeado en la cámara de humedad para protegerla de la pérdida de humedad hasta el momento del ensayo.
- El espécimen podrá ser ensayado dos horas después de este procedimiento y para cilindros de alta resistencia se espera un lapso de tres horas.

#### **3.5.6.5. Edad de ensayo.**

- Después del refrentado, una vez transcurrido el tiempo necesario para el ensayo, se transportan los especímenes cilíndricos en carritos, hasta el lugar de ensayo.
- Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada, deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles, señaladas en la tabla 2.17.

**Tabla 2.17 Edades de ensayo y tolerancias admisibles.**

<b>Edad de ensayo</b>	<b>Tolerancia admisible</b>
24 horas	±0.5 h ó 2.1%
3 días	2 horas ó 2.8%
7 días	6 horas ó 3.6%
28 días	20 horas ó 3.0%
90 días	2 días ó 2.2%

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

FUENTE: ASTM C39/C39M-18.

#### **3.5.6.6. Colocación del espécimen.**

- Verificar que las platinas metálicas no contengan irregularidades o deformaciones.
- Colocar el bloque de carga plano (inferior), con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo directamente bajo del bloque de carga esférico (superior). Limpiar las caras de contacto de

los bloques superior e inferior y del espécimen de ensayo y colocar el espécimen de ensayo sobre el bloque de carga inferior. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de carga del bloque de carga esférico, ninguno de los extremos de los especímenes de ensayo debe apartarse de la perpendicularidad a los ejes en más de  $0.5^\circ$ , aproximadamente 1mm en 100mm.

- Colocar la malla de protección.

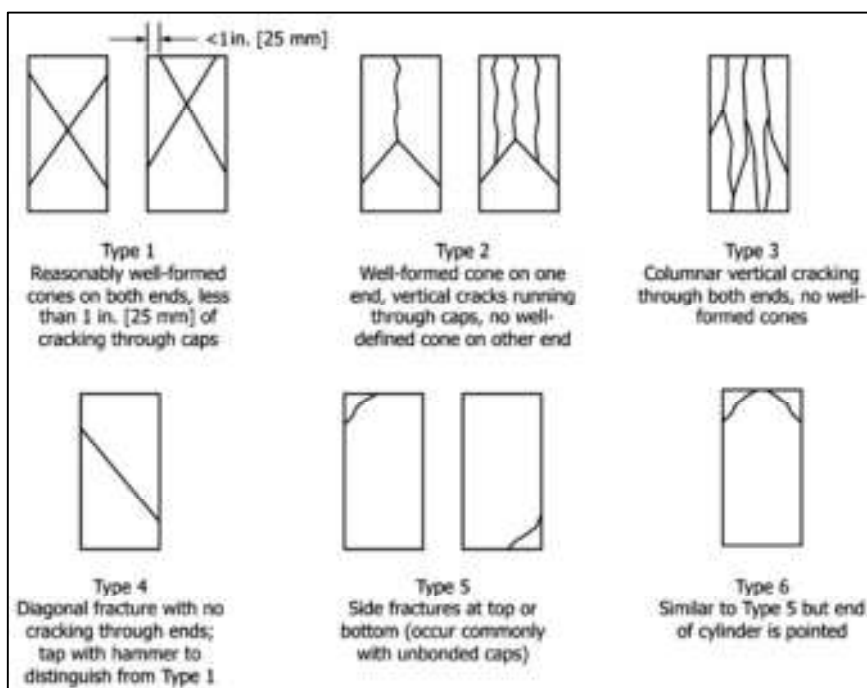
#### **3.5.6.7. Verificación del ajuste a cero y asentamiento del bloque.**

- Verificar que el indicador de carga esté ajustado a cero, antes de realizar el ensayo. Se lleva el bloque de carga esférico hasta apoyar sobre el espécimen, girar con la mano suavemente su parte móvil de tal modo de obtener un asentamiento uniforme.

#### **3.5.6.8. Velocidad de carga.**

- Se debe aplicar la carga de manera uniforme y sin impacto.
- Mantener la velocidad de movimiento  $2.5 \pm 0.5 \text{ Kg/cm}^2/\text{s}$  al menos durante la última mitad de la fase de la carga esperada.
- Se permite una velocidad de carga mayor durante la aplicación de la primera mitad de la fase de la carga esperada. La velocidad de la carga mayor debe ser aplicada de manera controlada de modo tal que el espécimen no esté sometido a una carga de impacto.
- No se debe hacer ajustes en la velocidad de movimiento cuando la carga última está siendo alcanzada y la velocidad de esfuerzo decrece debido a la fisuración en el espécimen.
- Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que esté decreciendo constantemente hasta un valor menor al 95% de la carga máxima, y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido, como se observa en la figura 2.14.

Figura 2.14 Esquema de los modelos típicos de fractura.



FUENTE: ASTM C39/C39M-18.

### 3.5.6.9. Medidas de seguridad.

- Las medidas de seguridad a tomar durante el ensayo son las siguientes:
  - Zapatos punta de acero
  - Guantes
  - Protección auricular
  - Gafas
  - Malla metálica
  - Mandil

### 3.5.7. Criterios y requisitos para la aprobación y rechazo.

- Si la resistencia obtenida es menor a la esperada, se verifica si:
  - El hormigón fracturado presenta cavidades de aire.
  - Existe evidencias de segregación.
  - Las fracturas pasan predominantemente alrededor o a través de las partículas de árido grueso.
  - La preparación de refrentado de los cilindros fue hecha de acuerdo con las normas ASTM C 617 O ASTM C 1231.

### 3.5.8. Datos a ser registrados, método de análisis y presentación.



En la tabla 2.18 se muestran los datos registrados durante el ensayo a partir de los cuales se calculan los parámetros necesarios; los resultados obtenidos deben ser presentados en una hoja de informe como las mostradas en el anexo VI.

**Tabla 2.18 Datos registrados y parámetros calculados.**

Dato	Parámetro Calculado
Fuerza	Resistencia
Peso	Peso específico

FUENTE: LEMSUR (2017).

El método de análisis para calcular la resistencia a compresión será dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, para el promedio del área de la sección transversal, y expresando el resultado con una aproximación de 0,1 MPa.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2.79)$$

Siendo:

P= Carga máxima soportada por el espécimen.

A= Promedio del área de la sección transversal.

Si la relación de la longitud al diámetro del espécimen es de 1.75 o menos, se corrige el resultado obtenido anteriormente, multiplicándolo por el factor de corrección apropiado en la siguiente tabla.

**Tabla 2.19 Factor de corrección para la relación L/D.**

L/D	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor:	0,98	0,96	0,93	0,87

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

FUENTE: ASTM C39/C39M-18.

Si los valores de L/D son intermedios entre los mostrados en la tabla, se debe interpolar.

Cuando sea solicitado, calcular la densidad del espécimen con una aproximación de  $10\text{Kg/m}^3$ , utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} \quad (2.80)$$

Siendo:

$W$ = Masa de Kg del espécimen.

$V$ = Volumen del espécimen, calculado a partir del diámetro promedio y la longitud promedio, o determinado mediante la obtención de su masa al aire sumergido y sumergido, en  $\text{m}^3$ .

Cuando el volumen sea determinado mediante la obtención de su masa sumergida, calcular el volumen de la siguiente manera:

$$V = \frac{W - W_s}{\gamma_w} \quad (2.81)$$

Siendo:

$W_s$ = Masa aparente del espécimen sumergido, en Kg, y

$\gamma_w$ = Densidad del agua a  $23^\circ\text{C}$ = $997.5\text{Kg/m}^3$ .

### **3.5.9. Precisión dentro del ensayo.**

En la tabla 2.20, se muestra la precisión dentro del ensayo, para cilindros de 150 mm por 300 mm y de 100 mm por 20 mm moldeados de una muestra de hormigón correctamente mezclada en condiciones de laboratorio y condiciones de campo.

**Tabla 2.20 Precisión de ensayo.**

	Coeficiente de variación <sup>a</sup>	Rango aceptable <sup>a</sup> de variación de resistencia de cilindros individuales	
		2 cilindros	3 cilindros
Cilindros de 150 por 300 mm Condiciones de laboratorio Condiciones de campo	2.4% 2.9%	6.6% 8.0%	7.8% 9.5%
Cilindro de 100 por 200 mm Condiciones de laboratorio	3.2%	9.0%	10.6%
<sup>a</sup> Estos valores representan los límites (1s%) y (d2s%) respectivamente, tal como se describe en la norma ASTM C670.			

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

FUENTE: ASTM C39/C39M-18.

**4. PUESTA A PUNTO.**

En base al conocimiento que se tiene del método y en base a la experiencia previa de ensayos de este tipo realizados en el LEMSUR, se analizaron los diferentes parámetros de validación definidos en la sección 2.4 y su aplicabilidad en ensayos destructivos como lo es el ensayo de compresión en hormigón aplicado en el LEMSUR para el cual no se logró obtener materiales de referencia.

**5. ELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE VALIDACIÓN.**

En base a lo especificado en la puesta a punto, los parámetros de validación seleccionados para llevar a cabo la validación del método de ensayo de compresión en cilindros de hormigón, son los siguientes:

- Intervalo de trabajo (del instrumento y del método).
- Exactitud (Veracidad y Precisión).
- Robustez.
- Repetibilidad y Reproducibilidad.
- Incertidumbre.

## **6. FIJACIÓN DE OBJETIVOS PARA LOS PARÁMETROS DE VALIDACIÓN.**

Los objetivos fijados para los parámetros de validación seleccionados, son:

- Verificar que el intervalo de trabajo del método y del instrumento sean compatibles entre sí y que los resultados obtenidos se encuentren dentro de estos intervalos.
- Verificar la exactitud del método de ensayo mediante la determinación del sesgo en los resultados (veracidad) y el cálculo de repetibilidad y reproducibilidad (precisión) en dichos resultados, esto mediante el cálculo del coeficiente de variación tanto de repetibilidad como de reproducibilidad, mismo que encontrarse dentro del valor especificado por la normativa ASTM C39/C39M-18.
- Determinar la robustez del método de ensayo ante la variación de parámetros tales como: operador, temperatura de curado, temperatura de ensayo y humedad de ensayo.
- Aplicar un estudio de repetibilidad y reproducibilidad mediante el análisis de resultados obtenidos para evaluar la aceptabilidad y determinar la calidad del sistema de medición empleado, así como, los parámetros que afectan al mismo.
- Calcular la incertidumbre asociada al resultado de ensayo mediante el análisis de los resultados obtenidos para determinar así la calidad de los resultados.

## **7. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ESTADÍSTICO.**

La obtención de los parámetros de validación seleccionados y posteriormente la verificación de los objetivos fijados, se llevó a cabo mediante la elaboración de 10 probetas por cada resistencia, para la realización de los ensayos se escogió trabajar con un total de 4 resistencias (210 kg/cm<sup>2</sup>, 280 kg/cm<sup>2</sup>, 350 kg/cm<sup>2</sup>, 425 kg/cm<sup>2</sup>) para que el cálculo de la incertidumbre sea lo más representativo posible. Se escogió también trabajar con 3 operadores diferentes para la realización de los ensayos intralaboratorio y dos pruebas interlaboratorios. Teniendo en cuenta

lo ya mencionado, se elaboraron un total de 160 probetas, como se muestra a continuación:

Operador 1: 10 probetas por resistencia x 4 resistencias = 40

Operador 2: 10 probetas por resistencia x 4 resistencias = 40

Operador 3: 10 probetas por resistencia x 4 resistencias = 40

Ensayo Interlaboratorio 1: 4 probetas por resistencia x 4 resistencias = 16

Ensayo Interlaboratorio 2: 4 probetas por resistencia x 4 resistencias = 16

Total de probetas: 152 probetas

Adicional a las 152 probetas elaboradas para las pruebas intralaboratorio e interlaboratorio, se elabora 8 probetas más para la determinación de robustez del método.

Dentro de este contexto, a continuación se muestra el diseño experimental y estadístico realizado para la obtención de los parámetros de validación.

- Intervalo de trabajo.

Los resultados obtenidos de los ensayos deberán encontrarse dentro del intervalo de trabajo del método, definido por el parámetro de densidad; y dentro del intervalo de trabajo de la máquina de ensayo, definido por el parámetro de resistencia, como se muestra en la tabla 2.21.

**Tabla 2.21 Intervalo de trabajo del método y de la máquina de ensayo.**

Parámetro	Rango	Unidades
Resistencia	10 - 45	MPa
Densidad	>800	Kg/m <sup>3</sup>

FUENTE: LEMSUR, 2017.

- Exactitud.

No se pudo realizar el cálculo del sesgo para la posteriormente demostración de la veracidad del método de ensayo, debido a que no se cuenta con un material de referencia o muestra patrón para dicho fin.

Para calcular la repetibilidad y reproducibilidad, y posteriormente demostrar la precisión del método, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) entre operadores para obtener la desviación estándar de la repetibilidad y reproducibilidad, el procedimiento estadístico se lo llevó a cabo en base a la metodología de cálculo señalada en la sección 2.3.8.2 y en la sección 2.4.3.

- Robustez.

La determinación de la robustez del método se llevó a cabo mediante la elaboración y ensayo de 8 probetas en las que se variaron las condiciones de los parámetros que pueden afectar al método de ensayo, esto se llevó a cabo mediante la aplicación del test de Youden y Steiner cuyo procedimiento de cálculo se detalla en la sección 2.3.10. Los parámetros escogidos, sujetos a variación dentro del método, su valor máximo y mínimo, así como, la configuración de ensayo de los mismos, se muestran en la tabla 2.22.

**Tabla 2.22 Diseño de ensayo de robustez.**

CONDICIÓN VARIABLE				ANÁLISIS							
Tipo	Clave	Valor Alto X	Valor Bajo x	1	2	3	4	5	6	7	8
Operador	A,a	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2
Temperatura de curado	B,b	23	15	23	23	15	15	23	23	15	15
Temperatura de ensayo	C,c	19	17	19	17	19	17	19	17	19	17
Humedad de ensayo	D,d	64	44	64	64	44	44	44	44	64	64
<b>RESULTADOS:</b>				<b>s</b>	<b>t</b>	<b>u</b>	<b>v</b>	<b>w</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña, 2018.

FUENTE: Bedregal, Torres, Ubillús, & Mendoza (2008).

- Repetibilidad y Reproducibilidad.

La aplicación del estudio de repetibilidad y reproducibilidad se llevó a cabo con las dimensiones que se obtuvieron de las probetas ensayadas en el LEMSUR.

El procesamiento estadístico de datos se realizó en base a lo descrito en la sección 2.3.11.2.

- Incertidumbre.

El cálculo de la incertidumbre asociada al resultado del ensayo, se calculó para cada resistencia, con los resultados obtenidos de los ensayos

intralaboratorio, esto en base al procedimiento detallada a lo largo de la sección 2.3.13.

#### **8. REALIZACIÓN DE ENSAYOS DISEÑADOS.**

La realización de los ensayos de acuerdo con el borrador del procedimiento mostrado en el numeral 3 del procedimiento de validación, se detalla en el capítulo 3, sección 3.5.

Los numerales 9, 10 y 11 del procedimiento de validación se desarrollaron en el capítulo 4, ya que la información requerida para el desarrollo de los mismos no se obtiene sino hasta el final del capítulo 3.

#### **9. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS.**

#### **10. DECLARACIÓN DEL MÉTODO VALIDADO.**

#### **11. GUARDAR REGISTROS ORDENADAMENTE.**

### **2.6 ESTADO DEL ARTE.**

En la tabla 2.23 se describen las investigaciones, estudios, publicaciones y normativas más importantes relacionadas con validación de métodos de ensayo y cálculo de incertidumbre.

Tabla 2.23 Estado del Arte.

AUTOR(ES)	AÑO Y LUGAR	TÍTULO	OBJETIVO	RESUMEN	RESULTADOS
EuroLab España P.P. Morillas y colaboradores.	2016, España	Guía Eurachem: La adecuación al uso de los métodos - Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados.	El objetivo de esta guía es el de analizar los aspectos generales relacionados con la validación de métodos y aumentar la comprensión de los lectores de lo que implica, por qué es importante, y dar una idea de cómo puede llevarse a cabo.	La guía Eurachem abarca la validación de métodos de ensayo, diferencias entre validar y verificar, procedimiento de como validar un método así como la extensión de los estudios de la misma. Presenta también, la información que debe contener el plan de informe de validación, las distintas herramientas que permiten llevar a cabo un estudio de validación, así como, las características de desempeño de los métodos.	Se muestran directrices para el uso adecuado de métodos validados y empleo de datos de validación para el diseño de programas de control de calidad interno y externo. Se detalla también, el procedimiento para llevar a cabo la documentación de métodos validados desde el borrador hasta la versión final, así como, recomendaciones útiles para tomar en cuenta durante la validación de métodos de ensayo.
EuroLab España P.P. Morillas y colaboradores.	2012, España	Guía CG 4 Eurachem/Citac: Cuantificación de la incertidumbre en Medidas Analíticas	La guía Eurachem/Citac tiene como objetivo principal el de identificar las principales fuentes de error que intervienen en los procesos de ensayo, describiendo para ellos las componentes que contribuyen a la incertidumbre para, después, estimar la contribución de cada una de estas fuentes.	Esta guía provee información detallada para el cálculo y la expresión de la incertidumbre en análisis químicos cuantitativos basados en el enfoque de la guía ISO "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida". Está para, cualquier nivel de exactitud, desde ensayos de rutina hasta investigaciones básicas. Introduce primero, el concepto de incertidumbre y la diferencia entre esta y el concepto de error, detalla paso a paso el proceso a seguir para la estimación de incertidumbre de medida y por último, señala directrices para informar la incertidumbre calculada.	Finalmente, presenta ejemplo que ilustran la aplicación de las técnicas para evaluación de la incertidumbre, descritas en el desarrollo de la guía. Presenta también, información adicional, útil para la evaluación de la incertidumbre, tal como definiciones generales, procedimientos estadísticos, además de, las fuentes y valores numéricos comunes de incertidumbre.



Grupo de Trabajo 1 del Comité de Guías en Metrología (JCGM WG 1).	2008, España	Evaluación de datos de medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM).	El objetivo de esta guía es el de dar información completa y detallada del procedimiento a seguir para la evaluación y expresión de la incertidumbre, y proveer una base que permita realizar la comparación internacional de los resultados de las mediciones.	En esta guía se presenta a detalle, el procedimiento a seguir para el cálculo de la incertidumbre, desde la identificación de las fuentes que influyen en la misma hasta la expresión final de esta, presenta también términos y conceptos básicos necesarios para llevar a cabo dicho cálculo.	Por último, se tiene un resumen del procedimiento de evaluación y expresión de la incertidumbre, ejemplos de la aplicación de conceptos y metodologías presentadas en el desarrollo de la guía, y recomendaciones útiles.
Organismo de Acreditación Ecuatoriana.	2014, Ecuador.	OAE G02. Expresión de la Incertidumbre de medida en las calibraciones.	Esta guía tiene como objetivo establecer los principios y requisitos para la evaluación de la incertidumbre de medida en calibraciones y la expresión de la incertidumbre de medida en los certificados de calibración.	En el desarrollo de este documento, se abordan definiciones básicas, métodos para evaluar la incertidumbre de medida de magnitudes de entrada, relación entre la incertidumbre de medida de la magnitud de salida y la incertidumbre de medida de las magnitudes de entrada, incertidumbre expandida de medida de la magnitud de salida, expresión de la incertidumbre de medida y el procedimiento detallado para calcular la incertidumbre de medida.	Los lineamientos descritos permiten al Organismo de Acreditación Ecuatoriana la aplicación de un enfoque coherente en la evaluación de la capacidad de medición y calibración de los laboratorios acreditados por el mismo.
Instituto de Salud Pública Chile	2010, Santiago de Chile	Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición. Aspectos generales sobre validación de métodos*	El objetivo de esta guía es entregar recomendaciones a los laboratorios para la validación de métodos de ensayo analíticos e introducir a estos en el concepto de incertidumbre de medición.	En esta guía técnica se presenta la terminología y estadística básica utilizada en estudios de validación de métodos de ensayo y cálculo de incertidumbre, así como, pruebas de significancia estadísticas utilizadas en el proceso de validación. Presenta también, los distintos parámetros de validación que definen el comportamiento del método, así como, ejemplos didácticos del cálculo de los mismos.	Como resultado final, se tiene una descripción detallada de cómo elaborar un plan e informe de validación de métodos de ensayo, se tiene también, prácticos formatos para la presentación de los mismos.

<p>Crubelati Ricardo y Di Riso Cecilia</p>	<p>2009, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), Argentina.</p>	<p>Aspectos prácticos de la validación e incertidumbre en medidas químicas.</p>	<p>El objetivo de este libro es el de uniformizar los criterios referentes a procedimientos de validación, expresión de resultados y cálculo de incertidumbres en los laboratorios que formaron parte del Proyecto de la Red Iberoamericana de Laboratorios de Calidad de Agua (RLCA-CYTED), y promover el uso de metodologías homogeneizadas en laboratorios regionales, esto para lograr que la información producida en diferentes laboratorios sea de compatible y de calidad.</p>	<p>Se desarrolló brevemente el concepto de validación y de las características básicas a evaluar en el proceso de validación de un método. En el caso de la incertidumbre, se presentan dos de las metodologías de cálculo actualmente utilizadas, estas son: la del criterio Eurachem, y la desarrollada en base a los datos obtenidos en el proceso de validación. Tanto para el tema de validación como para el de cálculo de incertidumbre, se presentan prácticos ejemplos de aplicación con datos reales obtenidos en distintos laboratorios.</p>	<p>Se tuvo como resultado final, una contribución a los laboratorios mediante metodologías sencillas explicadas con ejemplos concisos, para que así, los laboratorios que generan datos analíticos puedan aumentar su propia confianza en los resultados que obtienen, y puedan así, ofrecer información cada vez de mayor calidad.</p>
<p>Comité de la Organización Internacional de Normalización.</p>	<p>2017, Suiza.</p>	<p>ISO/IEC 17025: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.</p>	<p>El objetivo de la Norma Internacional ISO/IEC 17025 es el de establecer los requisitos generales que deben cumplir los laboratorios de ensayos y de calibraciones que quieran demostrar que poseen un sistema de gestión, son técnicamente competentes y son capaces de generar resultados técnicos válidos.</p>	<p>Se presentan los requisitos relativos a la gestión y requisitos técnicos para la competencia en la realización de ensayos o calibraciones realizados utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados, y métodos desarrollados por el propio laboratorio, incluye también el muestreo. En esta normativa, se incluyen además, todos los requisitos de la norma ISO 9001 aptos a los servicios de ensayos y calibraciones que estén dentro del sistema de gestión del laboratorio.</p>	<p>Como resultado del desarrollo de esta normativa, se tiene una base en la cual, los organismos de acreditación que reconocen la competencia de los laboratorios de ensayos y calibraciones, pueden basarse para la realización de acreditaciones.</p>

<p>Comité de la Organización Internacional de Normalización.</p>	<p>2015, Suiza.</p>	<p>ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos.</p>	<p>El objetivo de la Norma Internacional ISO 9001 es el de proveer a las organizaciones, los requisitos para la implementación de un sistema de gestión de la calidad que permita mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible.</p>	<p>Detalla los principios de la gestión de calidad en base a lo descrito en la Norma ISO 9000, cada principio incluye una declaración del mismo, una base racional de por qué es importante para la organización y ejemplos de los beneficios asociados con el principio, así como, ejemplos de acciones típicas para mejorar el desempeño de la organización cuando se aplique dicho principio.</p>	<p>La norma ISO 9001:2015, proporciona, más que un modelo que permite documentar políticas, objetivos y procesos de una organización; una presentación coherente de los requisitos para la implementación de un sistema de gestión de calidad relacionando tanto los procesos operados como la información mantenida para demás propósitos de la organización. En comparación con versiones anteriores, esta versión de la norma, tiene una mejor alineación con otras normas de sistemas de gestión</p>
--	---------------------	--	---	--	--

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña, 2018.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE ENSAYOS Y RESULTADOS.**

#### **3.1 ENSAYOS EN AGREGADOS.**

Se determinaron las propiedades que caracterizan a los agregados, y posteriormente, se confirmó que los resultados obtenidos cumplieran con los requisitos especificados en las normativas vigentes. Entre los requisitos que los áridos deben cumplir están: límite de gradación, densidad, peso específico, resistencia a la abrasión, impurezas orgánica, entre otros. Para la verificación de estos requisitos se hizo uso de la norma ASTM C33/C33M-16: “Standard Specification for Concrete Aggregates.”

El muestreo del agregado se lo realizó en base a la norma ASTM D75/D75M-14: “Standard Practice for Sampling Aggregates.”, esto con el fin de que la muestra seleccionada de la fuente, tanto de agregado fino como grueso, sea representativa.

A continuación se describe la metodología seguida para la realización de los ensayos que permitieron obtener las propiedades de los agregados, así como, los resultados obtenidos en cada caso.

##### **3.1.1 GRANULOMETRÍA.**

La granulometría o análisis granulométrico es la determinación del tamaño de las partículas y el porcentaje o distribución de las mismas dentro de una masa total de agregado. El ensayo granulométrico se lo realiza haciendo pasar una determinada masa de agregado por una serie de tamices estándar ordenados según el tamaño de la abertura de mayor a menor. El resultado se lo expresa mediante una gráfica (curva granulométrica) en escala semilogarítmica con la abertura de los tamices en el eje de las abscisas (escala logarítmica) y el porcentaje que pasa en el eje de las ordenadas (escala natural) (Cagua & Nates, 2017).

Los ensayos para la determinar la granulometría de los agregados se los realizó en base a las especificaciones de la ASTM C136/C136M-14: "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates". Previa la realización de los ensayos de granulometría, la muestra de ensayo debe ser secada al horno a una temperatura de 110 °C por un periodo de 18 a 24 horas.

Un parámetro importante dentro de la caracterización de los agregados es el módulo de finura (MF), éste es un valor que representa el grosor o finura de un material, se obtiene mediante la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie de módulo de finura mostrados en la tabla 3.1, dividido para 100. Mientras mayor sea el valor de módulo de finura, más grueso es el agregado.

**Tabla 3.1 Serie Módulo de Finura (Duff Abrams).**

Tamiz	Abertura (mm)
3"	75
1 1/2"	38
3/4"	19
3/8 "	9,5
N° 4	4,75
N° 8	2,36
N° 16	1,18
N° 30	0,60
N° 50	0,30
N° 100	0,15

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
Fuente: Luna, 2014.

El módulo de finura se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\Sigma \% \text{ retenidos acumulados de los tamices serie de Abrams}}{100} \quad (3.1)$$

Las ecuaciones utilizadas para el procesamiento de datos obtenidos en el ensayo, son las siguientes:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{peso retenido en cada tamiz} \times 100}{\text{peso de muestra total}} \quad (3.2)$$

$$\% \text{ retenido acumulado} = \Sigma \% \text{ retenido hasta ese tamiz} \quad (3.3)$$

$$\% \text{ que pasa} = 100\% - \% \text{ retenido acumulado} \quad (3.4)$$

### 3.1.1.1 Agregado Fino.

El tamaño de la muestra para el ensayo de granulometría de agregado fino, según la norma ASTM C136, debe ser de mínimo 300g, y la serie de tamices que se debe utilizar, según la norma ASTM C33, es: 3/8', #4, #8, #16, #30, #50 y #100.

#### Fotografía 3.1 Ensayo de granulometría de Agregado Fino.



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

#### 3.1.1.1.1 Resultados Obtenidos.

Para llevar a cabo el análisis granulométrico en agregado fino, se tomaron muestras de 1000 g. En la tabla 3.2 se muestran los resultados obtenidos, así como, los límites de gradación para agregado fino.

En la figura 3.1 se muestra la curva granulométrica obtenida del análisis granulométrico de agregado fino.



**Tabla 3.2 Análisis granulométrico y requisitos de gradación de agregado fino.**

TAMIZ No. [pulg]	ABERTURA [mm]	% retenido acumulado	% que pasa	Límite Mínimo	Límite Máximo
3/8"	9,5	0	100	100	100
4	4,75	0,2	99,8	95	100
8	2,36	23,6	76,4	80	100
16	1,18	51	49,0	50	85
30	0,6	68	32,0	25	60
50	0,3	76,8	23,2	5	30
100	0,15	85,7	14,3	0	10
200	0,075	89,9	10,1	0	5
<b>BANDEJA</b>		100	0,0		
<b>MF</b>		<b>3,1</b>			

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Se obtuvo un módulo de finura (MF) de 3.1, este corresponde al límite superior del rango establecido por la norma que va de 2.3 a 3.1 para agregado fino.

**Figura 3.1 Curva granulométrica de agregado fino.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Se observa que hay pequeños tramos de la curva granulométrica obtenida que se encuentran fuera de los límites de gradación establecidos en la norma ASTM C33/C33M-16, sin embargo, y como lo aclara la misma norma, si se demuestra mediante ensayos que el agregado no afecta el comportamiento del hormigón, éste puede ser utilizado para dicho propósito.

### **3.1.1.2 Agregado Grueso.**

En el caso del agregado grueso, la serie adecuada de tamices y el tamaño de la muestra que se debe utilizar, depende del tamaño máximo nominal del agregado, mismo que se define como la menor abertura de la malla que retiene del 5% al 15% de la masa. Dentro de este contexto, la serie de tamices se escoge de la norma ASTM C33/C33M-16, y el tamaño de la muestra se selecciona de la norma ASTM C136/C136M-14.

#### **Fotografía 3.2 Ensayo de granulometría de agregado grueso.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

#### **3.1.1.2.1 Resultados Obtenidos.**

Se trabajó con un agregado grueso cuyo tamaño máximo nominal fue de 1 pulgada (25mm), por lo que, en base a la recomendación de la norma, para la realización de los ensayos, se tomaron muestras de 10 kg, siendo este, el tamaño de muestra mínima con la que recomienda trabajar la norma.



En la tabla 3.3 se muestran los resultados obtenidos, así como, los límites de gradación para agregado grueso y en la figura 3.2 se muestra la curva granulométrica obtenida del análisis granulométrico realizado en agregado grueso.

**Tabla 3.3 Análisis Granulométrico y requisitos de gradación del agregado grueso.**

TAMIZ No. [pulg]	ABERTURA [mm]	% retenido acumulado	% que pasa	Límite Mínimo	Límite Máximo
1 1/2"	37,5	0	100	100	100
1"	25	1,8	98,2	95	100
1/2"	12,5	61,9	38,1	25	60
4	4,75	95,6	4,4	0	10
8	2,36	95,6	4,4	0	5
BANDEJA		100	0,0		
MF		5,91			

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

**Figura 3.2 Curva granulométrica de agregado grueso.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Los resultados observados del análisis granulométrico en agregado fino y grueso, muestran que estos cumplen con los requisitos de norma ASTM C33/C33M-16, y

por tanto, son aptos para la elaboración de las probetas de hormigón necesarias para el presente trabajo.

### 3.1.2 DENSIDAD APARENTE.

La densidad aparente, conocida también como Masa Unitaria, se define como el cociente entre la masa de agregado y el volumen que ocupan las partículas de este, los vacíos entre partículas y poros accesibles e inaccesibles. La densidad aparente de los agregados permite conocer la cantidad de agregado en peso necesaria para la elaboración de un volumen unitario de hormigón, como se sabe, el peso de un material varía dependiendo de la compacidad del mismo, razón por la cual, es importante conocer la densidad aparente suelta y compactada de los agregados.

El ensayo de densidad aparente suelta y compactada de los agregados se realiza en base a la norma ASTM C29/C29M-17: “Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate”.

Para el cálculo de densidad aparente, se emplea la ecuación mostrada a continuación.

$$\delta_{Aparente} = \frac{P_2 - P_1}{V} \quad (3.5)$$

Donde:

$\delta_{Aparente}$  = Densidad aparente suelta o compactada del agregado [g].

P2 = Peso del molde con agregado suelto o compactado [g].

P1 = Peso del molde [g].

V = Volumen del molde [cm<sup>3</sup>].

El volumen del molde que se va a utilizar en el ensayo depende del tamaño nominal máximo del agregado, dentro de este contexto, el molde se puede elegir de la norma ASTM C29/C29M-17, este será utilizado tanto para densidad aparente suelta como para densidad aparente compactada.

Antes de la ejecución del ensayo, el agregado fino y grueso debe ser secado por un periodo de 24 horas a una temperatura de 110°C, esto con el fin de obtener una masa invariable y que la información que se genere del ensayo sea confiable.

### 3.1.2.1 Agregado Fino.

El ensayo de densidad suelta y compacta tanto de agregado fino como de agregado grueso se lleva a cabo por el método de paladas y varillado respectivamente. Para determinar la densidad suelta, una vez secado el material y seleccionado el molde, se coloca el agregado fino en el molde hasta llenarlo, se enrasa y se pesa. La densidad compactada se determina llenando el molde en tres capas, cada una se compacta con 25 golpes de la varilla de punta redondeada de 16 mm de diámetro, una vez lleno el molde, se enrasa y se pesa.

#### Fotografía 3.3 Ensayo de densidad aparente de agregado fino.



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

#### 3.1.2.1.1 Resultados Obtenidos.

El ensayo de densidad aparente de agregado fino se realizó con un molde con capacidad nominal de 14 litros, esto por la facilidad de manipulación que ofrece. En la tabla 3.4 se muestran los resultados obtenidos tanto para densidad aparente suelta como para densidad aparente compactada de agregado fino.

**Tabla 3.4 Resultados de densidad aparente suelta y compacta de agregado fino.**

Densidad Aparente	Unidad	Ensayos			Promedio
		1	2	3	
Densidad Suelta	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,62	1,62	1,62	<b>1,62</b>
Densidad Compactada	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,83	1,83	1,83	<b>1,83</b>

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

### 3.1.2.2 Agregado Grueso.

La densidad aparente suelta y compactada de agregado grueso se determina de la misma forma que con el agregado fino. Se recomienda tanto para agregado fino como para agregado grueso, realizar los ensayos por duplicado para que la información generada refleje confiabilidad.

#### Fotografía 3.4 Ensayo de densidad aparente de agregado grueso.



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

#### 3.1.2.2.1 Resultados Obtenidos.

Para el ensayo de densidad aparente de agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 1 pulgada (25 mm), se escogió un molde con una capacidad nominal de 9,3 litros, en base a las especificaciones de la ASTM C29/C29M-17. En la tabla 3.5 se muestran los resultados obtenidos tanto para densidad aparente suelta como para densidad aparente compactada de agregado grueso.

**Tabla 3.5 Resultados de densidad aparente suelta y compactada de agregado grueso.**

Densidad Aparente	Unidad	Ensayos			Promedio
		1	2	3	
Densidad Suelta	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,28	1,29	1,29	1,29
Densidad Compactada	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,42	1,45	1,43	1,43

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

La densidad aparente compacta del agregado grueso está directamente relacionada con la granulometría del mismo, ya que, mientras mejor sea la distribución de los tamaños de las partículas de agregado, mayor será el valor de densidad compactada.

### 3.1.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.

El peso específico de los agregados se define como la relación entre la masa total y el volumen total del agregado cuando este se encuentra en condiciones de Superficie Seca Saturada (SSS), es decir, cuando se encuentra completamente saturado de agua. La masa total del agregado incluye el agua contenida en los poros permeables del agregado pero no incluye el agua adherida a la superficie del mismo.

La absorción se define como “la capacidad que tienen los agregados para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura” (Luna, 2014).

Previo la realización del ensayo para la determinación del peso específico y absorción del agregado, se debe lavar la muestra de ensayo hasta dejarla libre de impurezas y se debe dejar el agregado inmerso en agua por un periodo de al menos 24 horas para conseguir la saturación completa de las partículas, esto tanto para el agregado fino como para el agregado grueso.

#### 3.1.3.1 Agregado Fino.

El ensayo de peso específico y absorción de agregado fino se lo lleva a cabo en base a las norma ASTM C128-15: “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate”.

Una vez transcurrido el tiempo de saturación de la muestra de agregado fino, se determina la condición de superficie seca saturada (SSS) mediante el secado progresivo y una adecuada compactación del material, en un molde tronco cónico que permite comprobar la pérdida de agua superficial del agregado.

Inmediatamente después de que el material haya alcanzado la condición SSS, se pesa una determinada cantidad de muestra y se procede a eliminar los vacíos de la misma mediante la utilización de un picnómetro y una bomba de vacío.

**Fotografía 3.5 Ensayo de peso específico y absorción de agregado fino.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

Las ecuaciones empleadas para el procesamiento de datos obtenidos en el ensayo, son las siguientes:

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{B+S-C} \quad [g/cm^3] \quad (3.6)$$

$$\text{Peso específico SSS} = \frac{S}{B+S-C} \quad [g/cm^3] \quad (3.7)$$

$$\text{Absorción de agua} = \frac{(S-A)}{A} \times 100 \quad [\%] \quad (3.8)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca [g].

B = Peso del picnómetro más agua hasta la marca de aforo [g].

C = Peso del picnómetro más muestra y agua hasta la marca de aforo [g].

S = Peso de muestra en condición SSS [g].

### 3.1.3.1.1 Resultados Obtenidos.

Después de haber alcanzado la condición SSS en el agregado fino, se tomó una muestra aproximada de 300 g para la realización del ensayo en base al procedimiento señalado. Los resultados obtenidos en tres ensayos consecutivos realizados, así como, el promedio de los mismos, se muestran en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6 Resultados de peso específico y absorción de agregado fino.**

Agregado Fino	Unidad	Ensayos			Promedio
		1	2	3	
Peso Específico	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,62	2,54	2,58	2,58
Peso Específico SSS	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,67	2,58	2,62	2,62
Peso Específico Aparente	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,75	2,66	2,7	2,70
Absorción de Agua	[%]	1,74	1,8	1,77	1,77

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Los rangos recomendados por la literatura técnica para valores de peso específico y absorción en agregado fino, son de 2.30 a 2.70 g/cm<sup>3</sup> y de 0.2 a 2.0 % respectivamente. Se obtuvo un peso específico de 2.58 g/cm<sup>3</sup> y absorción de 1.77 %, mismos que se encuentran dentro de dichos rangos, confirmando así, que el agregado fino es apto para ser utilizado en la elaboración de hormigón.

### 3.1.3.2 Agregado Grueso.

El ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso se lo lleva a cabo en base a las norma ASTM C127-15: "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate".

Habiéndose cumplido el periodo de saturación, se debe secar manualmente el agregado con la ayuda de una franela hasta que haya perdido su brillo superficial. A continuación, se pesa la masa mínima de material para el ensayo dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado y se determina el peso sumergido y el peso seco de la muestra de agregado grueso.

**Fotografía 3.6 Ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

Las ecuaciones empleadas para el procesamiento de datos obtenidos en el ensayo, son las siguientes:

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{B-C} \quad [g/cm^3] \quad (3.9)$$

$$\text{Peso específico SSS} = \frac{B}{B-C} \quad [g/cm^3] \quad (3.10)$$

$$\text{Absorción de agua} = \frac{(B-A)}{A} \times 100 \quad [\%] \quad (3.11)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en aire [g].

B = Peso de la muestra saturada en superficie seca [g].

C = Peso aparente en agua de la muestra saturada [g].

**3.1.3.2.1 Resultados Obtenidos.**

Se tomó una muestra de agregado en condición S.S.S., de aproximadamente 3 kg, tomando en cuenta su tamaño nominal máximo, para la realización del ensayo en base al procedimiento señalado. En la tabla 3.7 se muestran los resultados obtenidos en tres ensayos consecutivos realizados, así como, el promedio de estos.



**Tabla 3.7 Resultados de peso específico y absorción de agregado grueso.**

Agregado Grueso	Unidad	Ensayos			Promedio
		1	2	3	
Peso Específico	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,58	2,61	2,59	2,59
Peso Específico SSS	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,62	2,65	2,64	2,64
Peso Específico Aparente	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,70	2,72	2,71	2,71
Absorción de Agua	[%]	1,75	1,68	1,72	1,72

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Se obtuvo un peso específico de 2.59 g/cm<sup>3</sup> y absorción de 1.72 %, estos se encuentran de los rangos recomendados por la literatura técnica, misma que señala que los valores recomendados para peso específico y absorción en agregado grueso van de 2.3 a 2.8 g/cm<sup>3</sup> y de 0.2 a 4.0 % respectivamente.

El valor de absorción del agregado es de gran importancia dentro de la elaboración del hormigón, tanto para la corrección de agua en el diseño de la mezcla, como para evaluar la resistencia mecánica del mismo, ya que, mientras más poroso es el material, más agua absorbe, es menos compacto y por lo tanto, tiene menor resistencia.

#### 3.1.4 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN.

El ensayo de resistencia a la abrasión se lo realiza en agregado grueso y permite determinar la calidad del mismo obteniendo la dureza de las partículas de la muestra, misma que se determina mediante la pérdida de masa por desgaste.

El desgaste en las partículas de agregado se logra mediante el uso de una carga abrasiva normalizada compuesta por esferas de acero, que se colocan junto con la muestra de ensayo en un tambor giratorio denominado Máquina de los Ángeles, a una velocidad adecuada, combinando así, el desgaste y la abrasión.

El número de esferas (carga abrasiva) y el número de revoluciones depende de la gradación y del tamaño del agregado respectivamente. En el presente trabajo, el ensayo de resistencia a la abrasión se lo llevó a cabo en base a las especificaciones de la norma ASTM C131/C131M-14: "Standard Test Method for

Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.”

**Fotografía 3.7 Ensayo de Abrasión.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

Las ecuaciones empleadas para el procesamiento de datos obtenidos en el ensayo, son las siguientes:

$$A = \frac{B-C}{B} \times 100 \quad (3.12)$$

$$Cu = \frac{B-D}{B-C} \quad (3.13)$$

Donde:

A = Porcentaje de desgaste [%].

B = Peso original de la muestra antes del ensayo [g].

C = Peso de la muestra retenida en el tamiz #12, a las 500 revoluciones [g].

D = Peso de la muestra retenida en el tamiz #12, a las 100 revoluciones [g].

Cu = Coeficiente de Uniformidad.

**3.1.4.1 Resultados Obtenidos.**

En base al análisis granulométrico realizado y en base a las normativas mencionadas, se determinó una gradación tipo B, por lo cual, se utilizó una carga abrasiva de 11 esferas, un peso inicial de la muestra de 5000 gamos y un total de 500 revoluciones en la Máquina de los Ángeles. En la tabla 3.8 se muestran los resultados obtenidos del ensayo de abrasión.

**Tabla 3.8 Resultados de Abrasión de agregado grueso.**

<b>Gradación:</b>	<b>8</b>
<b>Número de esferas:</b>	<b>11</b>
<b>Número de revoluciones:</b>	<b>500</b>
<b>Peso inicial [g]:</b>	<b>5000</b>
<b>Peso retenido en el tamiz # 12 luego de 100 revoluciones [g]:</b>	<b>4770,8</b>
<b>Peso retenido en el tamiz # 12 luego de 500 revoluciones [g]:</b>	<b>3907,7</b>
<b>Porcentaje de pérdida 100 rev [%]:</b>	<b>4,61</b>
<b>Porcentaje de pérdida 500 rev [%]:</b>	<b>21,87</b>
<b>Coefficiente de uniformidad:</b>	<b>0,21</b>

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Se obtuvo un valor de desgaste de 21.87%, mismo que se considera óptimo ya que, según lo especificado en la norma ASTM C33/C33M-16 “Standard Specification for Concrete Aggregates.”, dicho valor debe ser menor al 50%. Por otro lado, el valor de coeficiente de uniformidad de 0.21 se encuentra muy cercano al límite recomendado por la norma ASTM C131/C131M-14, mismas que especifican que dicho valor debe ser menor a 0.2.

### 3.1.5 CONTENIDO ORGÁNICO.

El contenido orgánico del agregado fino se determina por medio del ensayo de colorimetría, este tiene como objetivo detectar la presencia de impurezas orgánicas que pueden encontrarse en la arena, ya que estas, afectan el proceso normal de hidratación del cemento y afectan a la resistencia y durabilidad del hormigón.

El ensayo de colorimetría consiste en sumergir una determinada masa de arena en una solución de hidróxido de sodio al tres por ciento (3 partes de NaOH y 97 partes de H<sub>2</sub>O), por un periodo de 24 horas. Transcurrido el tiempo, se compara la coloración tomada por el líquido que recubre al agregado con una escala de colores denominada escala de Gardner. La coloración del líquido debe ser menor o igual a tres para que el agregado fino sea considerado adecuado para elaborar hormigón.

La determinación del contenido orgánico en agregado fino, se lleva a cabo en base a las especificaciones de la norma ASTM C40/C40M-16: "Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete."

**Fotografía 3.8 Ensayo para la determinación de contenido orgánico en agregado fino.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

### 3.1.5.1 Resultados Obtenidos.

Transcurridas las 24 horas de la realización del ensayo, se observa que la coloración que toma el líquido que cubre al agregado, es menor a uno, por lo tanto, el agregado se considera óptimo para la elaboración de hormigón.

**Tabla 3.9 Resultados de ensayo de contenido orgánico en agregado fino.**

Escala de Gardner	<1
-------------------	----

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

## 3.2 ENSAYOS EN CEMENTO.

Al igual que en los agregados, en el cemento también se realizan ensayos de laboratorio que permitan verificar las características dadas por el fabricante y determinar si es apto para ser utilizado en la elaboración de hormigón.

Para el desarrollo del presente trabajo, se utilizó cemento Tipo GU (Cemento hidráulico para la construcción en general), de la marca Holcim. A continuación se detalla el procedimiento de los principales ensayos realizados en el cemento, las normas empleadas y los resultados obtenidos.

### 3.2.1 DENSIDAD REAL.

La densidad real del cemento se define como el peso de un volumen unitario de cemento, sin incluir el aire que se encuentra entre las partículas. Según la norma ASTM C1157/C1157-17: "Standard Performance Specification for Hydraulic Cement" la densidad real del cemento puede tomar valores que van de 3.0 a 3.25 g/cm<sup>3</sup>.

La densidad real del cemento no es un indicador de la calidad del mismo, pero es de gran utilidad en el cálculo de las cantidades de mezcla en la dosificación del hormigón. Se determina midiendo el volumen de un líquido no reactivo que es desplazado por una determina masa de cemento, esto mediante la utilización de un frasco graduado denominado L´Chatelier.

El ensayo para determinar la densidad real del cemento, se lleva a cabo en base a las especificaciones de la norma ASTM C188-17: "Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement".

#### **Tabla 3.10 Ensayo para la determinación de la densidad real del cemento.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

La ecuación empleada para el cálculo de densidad real del cemento es la siguiente:

$$D. real = \frac{P2 - P1}{L2 - L1} \quad (3.14)$$

Donde:

D. real = Densidad real del cemento [g/cm<sup>3</sup>].

P1 = Peso inicial del frasco con reactivo [g].

P2 = Peso del frasco con reactivo y cemento [g].

L1 = Lectura inicial en un punto en la parte baja del cuello del frasco entre 0 y 1 [cm<sup>3</sup>].

L2 = Lectura final en un punto en la parte alta del cuello del frasco entre las marcas 18 y 24 [cm<sup>3</sup>].

### 3.2.1.1 Resultados Obtenidos.

En la tabla 3.11 se muestran los resultados obtenidos de dos ensayos realizados para determinar la densidad real del cemento, así como, el promedio de los mismos.

**Tabla 3.11 Resultados del ensayo de densidad real del cemento.**

Parámetro de estudio	Unidad	Ensayos		Promedio
		1	2	
Densidad real	[g/cm <sup>3</sup> ]	3,05	3,03	3,04

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

El valor de densidad real obtenido de 3.04 g/cm<sup>3</sup> se encuentra dentro de los rangos establecidos por la bibliografía.

### 3.2.2 DENSIDAD APARENTE.

La densidad aparente del cemento se define como el peso de un volumen unitario de cemento, al igual que en los agregados, en el cemento también se determina la densidad aparente suelta y la densidad aparente compactada.

La densidad aparente suelta se determina colocando el cemento en un recipiente de dimensiones y peso conocido, sin producir ningún tipo de vibraciones que pudieran compactarlo, hasta llenarlo completamente. Por otro lado, la densidad compactada se determina, al igual que en el caso anterior, llenando con cemento un recipiente de dimensiones y peso conocido, pero en este caso, el material debe ser colocado en tres capas compactando cada una, esta compactación se logra dejando caer el molde 25 veces a una altura aproximada de 20mm.

El ensayo para la determinación de densidad suelta y compactada del cemento se llevó a cabo en base al procedimiento detallado en la Guía Didáctica para el Diseño de Mezclas publicada por el ingeniero Germán Luna en el 2014.

**Fotografía 3.9 Ensayo para la determinación de densidad aparente del cemento.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

La ecuación empleada para el cálculo de densidad real del cemento es la siguiente:

$$\gamma_s, \gamma_c = \frac{(P_2 - P_1)}{V} \quad (3.15)$$

Donde:

$\gamma_s, \gamma_c$  = Densidad suelta o compactada del cemento [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ].

$W_s, W_c$  = Peso del cemento suelto o compactado (P2-P1) [g].

P1 = Peso del molde vacío [g].

P2 = Peso del molde con cemento suelto o compactado [g].

V = Volumen interno del molde [ $\text{cm}^3$ ].

### 3.2.2.1 Resultados Obtenidos.

Se determinó la densidad aparente suelta y compactada mediante el promedio de dos ensayos realizados, los resultados obtenidos se muestran a continuación, en la tabla 3.12.

**Tabla 3.12 Resultado de ensayo de densidad aparente del cemento.**

Parámetro de estudio	Unidad	Ensayos		Promedio
		1	2	
Densidad suelta	[ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	1,0	1,06	1,04
Densidad compactada	[ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	1,24	1,29	1,27

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

### 3.2.3 CONSISTENCIA NORMAL.

La consistencia normal del cemento se define como la cantidad de agua necesaria para que la pasta de cemento adquiera una fluidez y plasticidad adecuadas, esta condición se logra cuando todas y cada una de las partículas del cemento se encuentran hidratadas.

La cantidad necesaria de agua para la hidratación del cemento varía dependiendo de las características del mismo, mientras más fino sea, mayor cantidad de agua será necesaria para que alcance su consistencia normal, algo similar ocurre en el caso de cementos con adiciones, ya que, por el aumento de su superficie específica, necesitan mayor cantidad de agua para su hidratación. La consistencia normal del cemento puede variar de 23% a 33% (ASOCRETO, 2010).



El ensayo para la determinación de la consistencia normal del cemento se lleva a cabo en base a las especificaciones de las norma ASTM C187-16: "Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste."

Se dice que el cemento ha alcanzado su consistencia normal cuando la pasta elaborada con el mismo, colocada en un molde tronco cónico, es penetrada  $10 \pm 1$  mm en 30s, por la sonda de Tetmayer en el aparato Vicat. La pasta es elaborada con la ayuda de una batidora, variando la cantidad de agua hasta lograr la consistencia requerida.

**Fotografía 3.10** Ensayo para la determinación de la consistencia normal del cemento.



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

La ecuación empleada para el cálculo de la consistencia normal del cemento es la siguiente:

$$C\% = \frac{Ma}{Mc} \times 100 \quad (3.16)$$

Donde:

C = Consistencia normal [%].

Ma = Peso del agua [g].

$M_c$  = Peso del cemento [g].

### 3.2.3.1 Resultados Obtenidos.

En la tabla 3.13 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos realizados para la determinación de la consistencia normal del cemento.

**Tabla 3.13 Resultado del ensayo de consistencia normal.**

Parámetro de estudio	Unidad	Ensayos		Promedio
		1	2	
Consistencia Normal	%	26,5	27,2	26,85

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Se obtuvo un valor de consistencia normal de 26.85 %, mismo que se encuentra dentro del rango de valores típicos para cementos hidráulicos que van de 23 a 33 %.

### 3.2.4 TIEMPOS DE FRAGUADO.

El tiempo de fraguado se define como el tiempo transcurrido desde que el agua y el cemento entran en contacto hasta que la pasta pierde su fluidez y deja de ser plástica (tiempo de fraguado inicial), y hasta que la pasta adquiere la rigidez suficiente para soportar su propio peso (tiempo final de fraguado). El tiempo de fraguado es una propiedad que permite describir o especificar el paso de estado fresco a endurecido de la pasta de cemento, por lo que, es de gran importancia en obra ya que permite al operador estimar el tiempo disponible para mezclar, transportar, vibrar y dar los acabados finales al hormigón.

La determinación de los tiempos de fraguado consiste en preparar una pasta de cemento en consistencia normal y dejarla reposar en la cámara de curada para, con la ayuda del aparato Vicat, ir tomando paulatinamente medidas de penetración de la aguja en la pasta. Dentro de este contexto, el tiempo de fraguado inicial es el transcurrido entre el inicio de la preparación de la pasta y el momento en el que la aguja penetra 25mm en 30s, por otro lado, el tiempo final

de fraguado es el transcurrido entre el inicio de la preparación de la pasta hasta cuando la aguja ya no deja una marca perceptible sobre la pasta de cemento.

El ensayo para la determinación de los tiempos de fraguado se llevó a cabo en base a las especificaciones de las normas ASTM C191-18: "Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle".

**Fotografía 3.11 Ensayo para la determinación de tiempos de fraguado.**



ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.  
FUENTE: LEMSUR, 2018.

**3.2.4.1 Resultados Obtenidos.**

El tiempo inicial y final de fraguado del cemento utilizado para el desarrollo del presente trabajo, se muestran en la tabla 3.14.

**Tabla 3.14 Resultados del ensayo de tiempos de fraguado.**

Parámetro de estudio	Unidad	Valor
Tiempo inicial	[min]	145
Tiempo final	[min]	415

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Se obtuvo un tiempo inicial de fraguado de 145 minutos y un tiempo final de fraguado de 415 minutos, estos cumplen con lo establecido en la norma ASTM C1157/C1157-17, misma que establece que los tiempos inicial y final de fraguado no deben ser menor a 45 minutos ni mayor a 420 minutos respectivamente.

### 3.3 DOSIFICACIÓN.

En la tabla 3.15 se muestra un resumen de los resultados obtenidos de las propiedades del agregado y del cemento, mismas que se utilizaron para la realizar la dosificación del hormigón utilizado para la elaboración de los cilindros empleados como material de referencia para llevar a cabo el procedimiento de validación del ensayo de compresión en cilindros.

**Tabla 3.15 Propiedades de materiales empleados para la dosificación.**

<b>Agregado Fino</b>	Módulo de finura:	3,1
	Peso específico (Dsss):	2,62 [g/cm <sup>3</sup> ]
	Densidad aparente suelta:	1,62 [g/cm <sup>3</sup> ]
	Densidad aparente compactada:	1,83 [g/cm <sup>3</sup> ]
	Absorción :	1,77%
	Humedad:	0,00%
<b>Agregado Grueso</b>	Tamaño máximo del agregado:	1 1/2"
	Tamaño máximo nominal:	1"
	Módulo de finura:	5,91
	Peso específico (Dsss):	2,64 [g/cm <sup>3</sup> ]
	Densidad aparente suelta:	1,29 [g/cm <sup>3</sup> ]
	Densidad aparente compactada:	1,43 [g/cm <sup>3</sup> ]
	Absorción :	1,72
Humedad:	0,00%	
<b>Cemento</b>	Marca:	Holcim Rocafuerte
	Tipo:	GU
	Densidad real:	3,09 [g/cm <sup>3</sup> ]
	Densidad aparente suelta:	0,99 [g/cm <sup>3</sup> ]
	Densidad aparente compactada:	1,21 [g/cm <sup>3</sup> ]

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Habiendo verificado que los agregados cumplen con los requisitos establecidos por las diferentes normas para ser considerados como aptos para ser utilizados en la elaboración de hormigón, se realizó la dosificación siguiendo los pasos del método propuesto por el ACI 211.1. En el anexo V se muestran las dosificaciones del hormigón obtenidas para la elaboración de las muestras cilíndricas de hormigón, en las tablas 3.16 y 3.17 se muestra el resumen de dichas dosificaciones en peso y en volumen.

**Tabla 3.16 Dosificaciones al peso para las resistencias escogidas.**

Resistencia	Dosificación al Peso			
	a/c	Cemento	Arena	Ripio
$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	0,870	1,00	3,63	3,94
$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	0,702	1,00	3,14	3,49
$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$	0,537	1,00	1,96	2,48
$f'c = 425 \text{ kg/cm}^2$	0,421	1,00	1,38	1,97

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

**Tabla 3.17 Dosificaciones al volumen para las resistencias escogidas.**

Resistencia	Dosificación al Volumen			
	a/c	Cemento	Arena	Ripio
$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	0,900	1,00	2,33	3,18
$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	0,730	1,00	2,02	2,82
$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$	0,560	1,00	1,26	2,00
$f'c = 425 \text{ kg/cm}^2$	0,440	1,00	0,89	1,59

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Una forma práctica de verificar la dosificación obtenida es mediante la realización del ensayo de asentamiento mediante el uso del cono de Abrams, este permite verificar que el asentamiento escogido en el cálculo de la dosificación sea igual al obtenido en dicho ensayo realizado con la mezcla de hormigón.

### **3.4 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE ENSAYO .**

Después de haberse calculado la dosificación para cada resistencia, se elaboraron los cilindros de hormigón mezclando los ingredientes básicos: agregados, cemento y agua.

#### **3.4.1 ENSAYO DE ASENTAMIENTO.**

Se realizó el ensayo de asentamiento mediante el uso del cono de Abrams, en base a las especificaciones de la norma ASTM C143/C143M-15: "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete".

El ensayo de asentamiento consiste en, una vez cubierta la parte interna del cono con una fina capa de aceite mineral o material desmoldante no reactivo, llenar el mismo con la mezcla de hormigón fresco en tres capas, compactando cada una con 25 golpes mediante el uso de una varilla metálica de punta redondeada (16

mm de diámetro y 600 mm de longitud), la profundidad de los golpes debe ser la profundidad de la capa que se esté compactando.

Una vez compactada la capa final, se enrasa el borde del cono con la varilla utilizada para compactar, se limpia la base del cono y se lo levanta verticalmente, se lo coloca junto a la muestra de hormigón asentado en posición inversa y con un flexómetro, se mide la altura ente la parte superior del cono y el centro del hormigón asentado.

El asentamiento escogido para las dosificaciones calculadas fue de 7.5 a 10 cm.

### **3.4.2 MOLDEO DE CILINDROS.**

Una vez obtenido el asentamiento esperado, se moldearon los cilindros cuyas dimensiones preestablecidas fueron de 15 cm de diámetro y 30cm de altura, cumpliendo así con lo establecido en la norma ASTM C192/C192M-16: “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory”, en las que se especifica que relación entre dimensiones (h/d) debe ser igual a 2 y que el diámetro del molde debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado, establece además, en base al diámetro del molde; el número de capas para el llenado, modo y número de golpes de compactación para cada capa y diámetro de la varilla utilizada para dicho propósito.

Previo el moldeo de especímenes, los moldes cilíndricos deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C470/C470M-15: “Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically”. El procedimiento seguido para el moldeo de los especímenes se llevó a cabo en base a la norma ASTM C192/C192M-16, mismo que consiste en llenar cada uno, previamente cubierta la parte interna del mismo con aceite mineral o material desmoldante no reactivo, en tres capas compactando cada una con 25 golpes distribuidos en la sección transversal uniformemente con la ayuda de la varilla de compactación.

Después de compactar cada capa, se golpea el cilindro por su parte externa de 10 a 15 veces con la ayuda de un mazo de caucho ( $0.6 \pm 0.2$  kg de masa), esto con el fin de eliminar el aire atrapado y cerrar los orificios dejados por la varilla al momento de compactar la capa. Finalmente, después de la tercera capa, se

enrasan los cilindros tratando de no dejar depresiones o proyecciones mayores a 3mm en la superficie y se los coloca cerca del lugar, donde una vez desencofrados después de 24 horas, serán ubicados para el fraguado de los mismos.

Se elaboraron 38 especímenes por cada dosificación calculada dando un total de 152 especímenes, de las cuales, 120 fueron ensayadas en el laboratorio (40 por cada operador), las 32 restantes se las utilizó para la realización de pruebas interlaboratorio, adicionalmente se elaboraron 8 probetas de la primera resistencia ( $210 \text{ kg/cm}^2$ ) para la realización de la prueba de robustez.

El curado de los especímenes se efectuó por inmersión permanente en agua a una temperatura de  $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , fueron extraídos de los tanques de curado solo unas horas antes del ensayo para evitar la pérdida de humedad, tal como lo establece la ASTM C39/C39M-18: "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens".

### **3.5 ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.**

El ensayo de compresión simple en hormigón permite determinar la resistencia a la compresión del hormigón, siendo esta, una medida de la calidad del hormigón suministrado en obra, ya que el diseño estructural se basa en valor de resistencia específico. La realización del ensayo de compresión simple permite comprobar que el hormigón elaborado tenga la misma resistencia que la especificada en el diseño, el ensayo también, permite determinar cuándo realizar el retiro del desencofrado siempre que la resistencia a esa edad sea la adecuada (IMCYC, 2006).

Transcurridos un tiempo de curado de 28 días, edad en la que se espera el hormigón alcance aproximadamente el 100% de su resistencia, los especímenes fueron ensayados siguiendo el borrador del procedimiento descrito en el numeral 3 y el diseño experimental del numeral 7, estos dos del procedimiento de validación, mismo que fue desarrollado en la sección 2.5 del capítulo 2.

### **3.5.1 RESULTADOS OBTENIDOS.**

Los resultados obtenidos de los ensayos a compresión se muestran en el anexo VI.



## **CAPÍTULO IV**

### **TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS.**

#### **4.1 CÁLCULO DE PARÁMETROS DE VALIDACIÓN.**

##### **4.1.1 INTERVALO DE TRABAJO.**

Tal como se observa en el anexo VI, las resistencias y densidades obtenidas de los ensayos realizados, están dentro del intervalo de trabajo del equipo de ensayo y del método de ensayo.

##### **4.1.2 EXACTITUD.**

###### **4.1.2.1 Veracidad.**

No se pudo demostrar la veracidad del método de ensayo debido a que no se cuenta con un material de referencia certificado y tampoco fue posible la participación en un estudio colaborativo que permitiera calcular el sesgo de los resultados y por tanto la veracidad del método.

###### **4.1.2.2 Precisión.**

Mediante la realización de un análisis de varianza (ANOVA), se determinó la repetibilidad y reproducibilidad mismas que son expresadas en términos de desviación estándar o coeficiente de variación, esto para los resultados obtenidos en los ensayos intralaboratorio.

En la tabla 4.1 se muestran los resultados de repetibilidad y reproducibilidad obtenidos del análisis de datos intralaboratorio de cada resistencia con la que se trabajó. En el anexo VIII se presentan las tablas de cálculo elaboradas para la obtención de los parámetros a continuación mostrados.

**Tabla 4.1 Precisión obtenida de los ensayos intralaboratorio.**

RESISTENCIA ( kg/cm2 )	Desviación Estándar de Repetibilidad	Desviación Estándar de Reproducibilidad	Coficiente de Variación de Repetibilidad	Coficiente de Variación de Reproducibilidad
	Sr	SR	CVr (%)	CVR (%)
210	0,693	0,693	3,625	3,625
280	0,633	0,633	2,123	2,12
350	0,803	0,803	2,347	2,347
425	0,76	0,78	1,92	1,97

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Se observa que los coeficientes de variación tanto en repetibilidad como en reproducibilidad están por debajo del valor de coeficiente de variación especificado en la norma ASTM C39/C39M – 18 que es de 2.4%, excepto en la primera resistencia con la que se trabajó, en la que se observa que el coeficiente de repetibilidad y reproducibilidad sobrepasa el valor mencionado y por tanto, no cumple con la precisión de ensayo requerida.

#### 4.1.3 ROBUSTEZ.

Se determinó la robustez del método de ensayo para los parámetros: operador, temperatura de curado, temperatura de ensayo, temperatura ensayo y humedad de ensayo, realizando variaciones entre el valor máximo y mínimo de cada parámetro. La determinación de la robustez se llevó a cabo mediante el test de Youden y Steiner cuya metodología se detalla en la sección 2.3.10. En las tablas 4.2, 4.3 y 4.4 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 4.2 Ensayo de robustez por el test de Youden y Steiner.**

CONDICIÓN VARIABLE				ANÁLISIS							
Tipo	Clave	Valor Alto X	Valor Bajo x	1	2	3	4	5	6	7	8
Operador	A,a	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2
Temperatura de curado	B,b	23	15	23	23	15	15	23	23	15	15
Temperatura de ensayo	C,c	21	16	21	16	21	16	21	16	21	16
Humedad de ensayo	D,d	69	58	69	69	58	58	58	58	69	69
RESULTADOS:				18,79	19,26	19,97	18,30	18,50	18,24	18,68	19,24
DS:				0,59							
$\sqrt{2}$ DS				0,831							

**Tabla 4.3 Condición para determinación de robustez.**

$\Delta < \sqrt{2} DS$	No sensible a variable.
$\Delta > \sqrt{2} DS$	Sensible a variable.

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

**Tabla 4.4 Resultados obtenidos del ensayo de robustez.**

Condición Variable		Resultados		Diferencia	Comparación
Valor Alto X	Valor Bajo x	Promedio X	Promedio x	$ \Delta (X-x) $	$\Delta < \sqrt{2} DS$
A	A	19,08	18,66	0,42	No sensible a variable
B	B	18,70	19,05	0,35	No sensible a variable
C	C	18,99	18,76	0,23	No sensible a variable
D	D	18,99	18,75	0,24	No sensible a variable

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Una vez realizado el tratamiento de datos, se observa que, de acuerdo a la condición para aceptación de robustez planteada por el test de Youden y Steiner, el método de ensayo no es sensible a la variación de los parámetros escogidos.

#### 4.1.4 ESTUDIO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD .

Se evaluó la calidad de sistema de medición mediante la aplicación de un estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R&R), esto mediante el método de análisis de varianza (ANOVA).

Se escogieron dos muestras cilíndricas idénticas, en estas se midió el diámetro y altura 10 veces por duplicado por cada uno de los tres operadores. La metodología seguida para el desarrollo del estudio de repetibilidad y reproducibilidad fue la descrita en la sección 2.3.11.

En las tablas 4.5 y 4.6 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de cada operador tanto para diámetro como para altura y en las tablas 4.7 y 4.8 se muestran los resultados obtenidos en el estudio R&R realizado.

**Tabla 4.5 Datos de diámetros medidos en milímetros para estudio R&R.**

DIÁMETRO						
N° REPETICION	OPERADOR 1		OPERADOR 2		OPERADOR 3	
	1	2	1	2	1	2
1	150,25	151,00	151,50	151,25	150,50	150,50
2	150,25	150,75	150,00	151,25	150,00	150,75
3	150,75	151,00	150,25	151,00	151,75	151,25
4	151,00	151,25	151,25	151,75	151,75	150,00
5	151,25	150,50	151,25	151,75	150,50	151,00
6	150,25	151,00	151,75	151,25	151,70	150,75
7	151,00	151,50	151,75	150,50	151,50	150,75
8	151,00	150,50	151,25	151,25	151,75	150,50
9	151,00	150,75	150,00	150,75	150,75	150,75
10	151,5	150,5	150	150,25	151,25	151,5
SUMA TOTAL	1508,25	1508,75	1509	1511	1511,45	1507,75
	3017		3020		3019,2	

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña

**Tabla 4.6 Datos de alturas medidas en milímetros para estudio R&R.**

ALTURA						
N° REPETICIONES	OPERADOR 1		OPERADOR 2		OPERADOR 3	
	1	2	1	2	1	2
1	301	301	301	301	301	301
2	301	301	301	302	301	301
3	301	302	300	302	302	302
4	302	301	301	303	301	300
5	300	301	301	303	300	302
6	300	302	301	303	300	302
7	301	302	301	302	301	302
8	302	302	301	302	301	302
9	301	301	302	302	301	301
10	301	301	301	301	301	301
SUMA TOTAL	3008,5	3013,5	3007	3018,2	3009	3014
	6022		6025,2		6023	

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña

**Tabla 4.7 Resultado de estudio R&R para medición de diámetro.**

Fuente de Variacion	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios
Operador	0,2413	2	0,1207
Partes	2,70	9	0,30
Interaccion	5,58	18	0,310
Error	7,98	30	0,266
<b>Total</b>	<b>16,50</b>	<b>59</b>	
r = 2,66	R = 0,00	I = 0,00	
%r = 66,41	%R = 0,00	%I = 0,03	
<b>%r&amp;R=</b>	<b>66,41</b>		

**Tabla 4.8 Resultado de estudio R&R para medición de altura.**

Fuente de Variacion	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios
Operador	0,2680	2	0,134
Partes	2,86	9	0,32
Interaccion	4,11	18	0,228
Error	18,67	30	0,622
<b>Total</b>	<b>25,91</b>	<b>59</b>	
r = 4,06	R = 0,00	I = 0,00	
%r = 73,87	%R = 0,00	%I = 0,00	
<b>%r&amp;R=</b>	<b>73,87</b>		

#### 4.1.5 INCERTIDUMBRE.

Se calculó la incertidumbre asociada al resultado del ensayo de compresión, es decir la incertidumbre del valor de resistencia del hormigón y, adicionalmente se calculó la incertidumbre asociada al valor de densidad del hormigón, ya que es un parámetro que también se suele reportar en el informe de resultados reportados por el LEMSUR.

El cálculo de la incertidumbre se llevó a cabo en base a los conceptos expuestos en la sección 2.3.13 y en base a la metodología de cálculo planteada por la GUM (2008), a continuación se muestra el procedimiento de cálculo seguido.

#### 4.1.5.1 Procedimiento de cálculo de incertidumbre.

##### 4.1.5.1.1 Modelo del sistema de medida.

Se plantea el modelo del sistema de medida tanto para la resistencia a la compresión como para la densidad del cilindro.

- Resistencia a la compresión del cilindro ( $f'c$ ):

$$f'c = \frac{F}{\pi \left(\frac{\varnothing}{2}\right)^2} \quad (4.1)$$

Siendo:

$F$  = Fuerza máxima soportada por el cilindro.

$\varnothing$  = Promedio de dos diámetros medidos alrededor de la altura media del espécimen.

- Densidad del cilindro ( $\delta$ ):

$$\delta = \frac{M}{\pi \left(\frac{\varnothing}{2}\right)^2 * h} \quad (4.2)$$

Siendo:

$M$  = Masa del cilindro.

$h$  = Promedio de tres alturas medidas en el espécimen.

##### 4.1.5.1.2 Enlistar todas las fuentes de incertidumbre.

Factores	Fuente de Incertidumbre	Observaciones
<b>Máquina de carga (<math>U_F</math>)</b>	Incertidumbre de la máquina ( $U_{F1}$ )	Incertidumbre expandida de la calibración dividida para el factor de cobertura.
	Resolución ( $U_{F2}$ )	Último dígito que se puede apreciar visualmente dividido para dos por raíz cuadrada de tres.
	Deriva ( $U_{F3}$ )	Diferencia de correcciones sobre raíz de tres. Si la máquina es nueva, se toma la deriva como la exactitud sobre la raíz de tres.

<b>Vernier Calibrador Diámetro (<math>u_{\phi}</math>)</b>	Incertidumbre del equipo ( $u_{\phi 1}$ )	La incertidumbre expandida de la calibración sobre dos.
	Resolución ( $u_{\phi 2}$ )	Último dígito que se puede apreciar visualmente dividido para dos por raíz cuadrada de tres.
	Deriva ( $u_{\phi 3}$ )	Diferencia de correcciones sobre raíz de tres. Si la máquina es nueva, se toma la deriva como la exactitud sobre la raíz de tres.
	Repetibilidad ( $S_r$ )	Desviación estándar de la repetibilidad.
<b>Flexómetro Altura (<math>u_h</math>)</b>	Incertidumbre del equipo ( $u_{h 1}$ )	La incertidumbre expandida de la calibración sobre dos.
	Resolución ( $u_{h 2}$ )	Último dígito que se puede apreciar visualmente dividido para dos por raíz cuadrada de tres.
	Deriva ( $u_{h 3}$ )	Diferencia de correcciones sobre raíz de tres. Si la máquina es nueva, se toma la deriva como la exactitud sobre la raíz de tres.
<b>Balanza (<math>u_M</math>)</b>	Incertidumbre de la maquina ( $u_{M 1}$ )	La incertidumbre expandida sobre dos.
	Resolución ( $u_{M 2}$ )	Último dígito que se puede apreciar visualmente dividido para dos por raíz cuadrada de tres.
	Deriva ( $u_{M 3}$ )	Diferencia de correcciones sobre raíz de tres. Si la máquina es nueva, se toma la deriva como la exactitud sobre la raíz de tres.
	Repetibilidad ( $S_r$ )	Desviación estándar de la repetibilidad.

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña

#### 4.1.5.1.3 Calcular la Incertidumbre Estándar de las Fuentes.

Fuerza

$$u_F = \sqrt{\text{Inc. Maquina}^2 + \text{Resolución}^2 + \text{Deriva}^2} \quad (4.3)$$

$$u_F = \sqrt{u_{F1}^2 + u_{F2}^2 + u_{F3}^2}$$

Diámetro

$$u_{\phi} = \sqrt{\text{Inc. Equipo}^2 + \text{Resolución}^2 + \text{Deriva}^2} \quad (4.4)$$

$$u_{\phi} = \sqrt{u_{\phi 1}^2 + u_{\phi 2}^2 + u_{\phi 3}^2}$$

Altura

$$u_h = \sqrt{\text{Inc. Equipo}^2 + \text{Resolución}^2 + \text{Deriva}^2} \quad (4.5)$$

$$u_h = \sqrt{u_{h1}^2 + u_{h2}^2 + u_{h3}^2}$$

Masa

$$u_M = \sqrt{\text{Inc. Equipo}^2 + \text{Resolución}^2 + \text{Deriva}^2} \quad (4.6)$$

$$u_M = \sqrt{u_{M1}^2 + u_{M2}^2 + u_{M3}^2}$$

**4.1.5.1.4 Calcular los coeficientes de sensibilidad de Resistencia y Densidad.**

**Tabla 4.9 Coeficientes de sensibilidad de Resistencia.**

Resistencia	Coficiente de sensibilidad de la fuerza	$c_F = \frac{\partial f_{cu}}{\partial F} = \frac{\frac{F}{\pi \left(\frac{\phi}{2}\right)^2}}{\partial F} = \frac{4}{\pi * \phi^2}$
	Coficiente de sensibilidad del diámetro	$c_{\phi} = \frac{\partial f_{cu}}{\partial \phi} = \frac{\frac{F}{\pi \left(\frac{\phi}{2}\right)^2}}{\partial \phi} = -\frac{8F}{\pi * \phi^3}$

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.



**Tabla 4.10 Coeficientes de sensibilidad de Densidad.**

Densidad	Coefficiente de sensibilidad de la masa	$c_M = \frac{\partial \delta}{\partial M} = \frac{4}{\pi \cdot \phi^2 \cdot h}$
	Coefficiente de sensibilidad del diámetro	$c_{\phi d} = \frac{\partial \delta}{\partial \phi d} = -\frac{8M}{\pi \cdot \phi^3 \cdot h}$
	Coefficiente de sensibilidad de la altura	$c_h = \frac{\partial \delta}{\partial h} = -\frac{4M}{\pi \cdot \phi^2 \cdot h^2}$

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

**4.1.5.1.5 Calcular la Incertidumbre Estándar Combinada.**

Resistencia

$$u_{frc} = \sqrt{c_F^2 * u_F^2 + c_{\phi^2}^2 * u_{\phi^2}^2 + c_r^2 * S_r^2} \quad (4.7)$$

Densidad

$$u_{\delta} = \sqrt{c_M^2 * u_M^2 + c_{\phi d}^2 * u_{\phi d}^2 + c_h^2 * u_h^2 + c_r^2 * S_r^2} \quad (4.8)$$

**4.1.5.1.6 Calcular la incertidumbre expandida.**

La incertidumbre expandida U, se obtiene multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de cobertura k correspondiente a un nivel de confianza adecuado, se escogió un nivel de confianza del 95.45% cuyo factor de cobertura es k= 2.

$$U_{frc} = k * u_{frc} \quad (4.9)$$

$$U_{\delta} = k * u_{\delta} \quad (4.10)$$

#### 4.1.5.1.7 Notificación de resultados.

El resultado final del ensayo está conformado por la resistencia calculada  $f'c$  y la densidad  $\delta$  junto con su respectiva incertidumbre y unidades, así:

$$\text{Resultado} = f'c \text{ (unidades)} \pm U_{f'c} \text{ (unidades)}$$

$$\text{Resultado} = \delta \text{ (unidades)} \pm U_{\delta} \text{ (unidades)}$$

#### 4.1.5.2 Ejemplo de cálculo.

A continuación se detalla un ejemplo del procedimiento seguido para el cálculo de incertidumbre, el ejemplo fue desarrollado para la resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> (20,5 MPa), los certificados de calibración de los equipos se muestra en el anexo VII, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

##### 4.1.5.2.1 Fuentes de incertidumbre de la medición de la fuerza:

- i) Desviación de la lectura nominal (Incertidumbre de la Máquina  $u_{F1}$ ).

La incertidumbre proveniente de la desviación nominal de la máquina de ensayo se obtiene dividiendo la incertidumbre expandida reportada en el certificado de calibración para el factor de cobertura correspondiente al nivel de confianza escogido. Del informe de calibración de la máquina de ensayo utilizada, se obtiene una incertidumbre expandida de 0.48 kN (480N) definida para un nivel aproximado de confianza del 95.45%, con un factor de cobertura  $k=2$ .

Es importante asegurarse que el equipo funcione dentro de las especificaciones antes del uso.

Dentro de este contexto, la incertidumbre estándar proveniente de la máquina de ensayo es igual a:

$$u_{F1} = \frac{U}{k} = \frac{480\text{N}}{2.0} = 240\text{ N}$$

- ii) Resolución observada ( $u_{F2}$ ).

La resolución observada de la máquina de ensayo es igual a 0.001 T (9.81 N), asumiendo una distribución rectangular, la incertidumbre estándar de la resolución de la máquina de ensayo es igual a:

$$u_{F2} = \frac{\text{Resol.} / 2}{\sqrt{3}} = \frac{9.81/2}{\sqrt{3}} = 2.832 \text{ N}$$

iii) Deriva ( $u_{F3}$ ).

La diferencia entre las calibraciones de la máquina es de aproximadamente 5.5 N, por lo que, la incertidumbre estándar de la deriva de la máquina de ensayo es igual a:

$$u_{F3} = \frac{\text{Deriva.}}{\sqrt{3}} = \frac{2.2\text{N}}{\sqrt{3}} = 3.175 \text{ N}$$

iv) La Incertidumbre estándar de la Fuerza es: ( $u_F$ )

$$u_F = \sqrt{u_{F1}^2 + u_{F2}^2 + u_{F3}^2}$$

$$u_F = \sqrt{240^2 + 2,832^2 + 3,175^2}$$

$$u_F = 240 \text{ N}$$

#### 4.1.5.2.2 Medición de dimensiones (Diámetro):

i) Precisión del equipo ( $u_{\emptyset1}$ )

Se observó en el informe de calibración del vernier, una incertidumbre expandida de  $\pm 0.04$  mm definida para un nivel de confianza de aproximadamente 95.45% con un factor de cobertura  $k=2$ .

La incertidumbre estándar de calibración, es igual a:

$$u_{\emptyset1} = \frac{U}{k} = \frac{0.04}{2} = 0.02 \text{ mm}$$

ii) Resolución de la producción observada ( $u_{\emptyset2}$ )

La resolución del equipo es de 0.05 mm, suponiendo una distribución rectangular, por lo que la incertidumbre estándar de resolución del vernier es igual a:

$$u_{\emptyset2} = \frac{\text{Resol.} / 2}{\sqrt{3}} = \frac{0.05/2}{\sqrt{3}} = 0.0144 \text{ mm}$$

iii) Deriva ( $u_{\emptyset3}$ )

La diferencia entre las calibraciones del vernier es 0.003 mm, por lo tanto, la incertidumbre estándar de la deriva es igual a:

$$u_{\emptyset 3} = \frac{\text{Deriva.}}{\sqrt{3}} = \frac{0.003}{\sqrt{3}} = 0.00173 \text{ mm}$$

iv) Incertidumbre estándar del diámetro es: ( $u_{\emptyset}$ )

$$u_{\emptyset} = \sqrt{u_{\emptyset 1}^2 + u_{\emptyset 2}^2 + u_{\emptyset 3}^2}$$

$$u_{\emptyset} = \sqrt{0.02^2 + 0.0144^2 + 0.00173^2}$$

$$u_{\emptyset} = 0.0247 \text{ mm}$$

i) Repetibilidad: ( $S_r$ )

La repetibilidad correspondiente al parámetro de resistencia es igual a la desviación estándar ( $S_r$ ) con un coeficiente de sensibilidad igual a 1 y se obtiene del estudio ANOVA realizado en el numeral 4.1.4.

$$S_r = 0.693 \text{ Mpa}$$

#### 4.1.5.2.3 Medición de dimensiones (Longitud):

i) Precisión del equipo ( $u_{h1}$ )

Se observó en el informe de calibración del flexómetro, una incertidumbre expandida de  $\pm 0.11$  mm definida para un nivel de confianza de aproximadamente 95.45% con un factor de cobertura  $k=2$ .

La incertidumbre estándar de calibración es igual a:

$$u_{h1} = \frac{U}{k} = \frac{0.11}{2} = 0.055 \text{ mm}$$

ii) Resolución de la producción observada ( $u_{h2}$ )

La resolución del equipo es de 1 mm, suponiendo una distribución rectangular, la incertidumbre estándar de resolución es igual a:

$$u_{h2} = \frac{\text{Resol.} / 2}{\sqrt{3}} = \frac{1/2}{\sqrt{3}} = 0.288 \text{ mm}$$

iii) Deriva ( $u_{h3}$ )

La diferencia entre las calibraciones del vernier es 0.1 mm, por lo tanto la incertidumbre estándar de la deriva es igual a:

$$u_{h3} = \frac{\text{Deriva.}}{\sqrt{3}} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.0115 \text{ mm}$$

iv) Incertidumbre estándar combinada de la Longitud es: ( $u_h$ )

$$u_h = \sqrt{u_{h1}^2 + u_{h2}^2 + u_{h3}^2}$$

$$u_h = \sqrt{0.055^2 + 0.288^2 + 0.0115^2}$$

$$u_h = 0.294 \text{ mm}$$

**4.1.5.2.4 Medición de la Masa:**

ii) Precisión del equipo ( $u_{M1}$ ).

Se observó en el informe de calibración de la balanza, una incertidumbre expandida de  $\pm 0.53$  g definida para un nivel de confianza de aproximadamente 95.45% con un factor de cobertura  $k=2$ .

Incertidumbre estándar de calibración es igual a:

$$u_{M1} = \frac{U}{k} = \frac{0.53}{2} = 0.265 \text{ g}$$

iii) Resolución de la producción observada ( $u_{M2}$ ).

La resolución de la balanza es de 0.1 g, suponiendo una distribución rectangular, la incertidumbre estándar de resolución es igual a:

$$u_{M2} = \frac{\text{Resol.} / 2}{\sqrt{3}} = \frac{0.1/2}{\sqrt{3}} = 0.0288 \text{ g}$$

iv) Deriva ( $u_{M3}$ ).

La diferencia entre las calibraciones de la balanza es 0.5 g, por lo tanto, la incertidumbre estándar de la deriva es igual a:

$$u_{M3} = \frac{\text{Deriva}}{\sqrt{3}} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.0288 \text{ g}$$

v) Incertidumbre estándar de la Masa ( $u_M$ ).

$$u_M = \sqrt{u_{M1}^2 + u_{M2}^2 + u_{M3}^2}$$

$$u_M = \sqrt{0.265^2 + 0.0288^2 + 0.0288^2}$$

$$u_M = 0.268 \text{ g}$$

vi) Repetibilidad: ( $S_r$ )

La repetibilidad correspondiente a la densidad es igual a la desviación estándar ( $S_r$ ) con un coeficiente de sensibilidad igual a 1, y se obtiene del estudio ANOVA realizado en el numeral 4.1.4.

$$S_R = 23.501 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.1.5.2.5 Incertidumbre Estándar Combinada ( $u_{f_{rc}}$ ):

Para el cálculo de la incertidumbre estándar combinada de la resistencia, se calculan los coeficientes de sensibilidad de la fuerza y del diámetro, para el cálculo de coeficientes de sensibilidad se escogieron valores de fuerza y diámetro de tal manera que permitieran obtener los valores más altos de coeficiente de sensibilidad.

Coficiente de Sensibilidad del diámetro,  $\emptyset$ :

$$c_{\emptyset} = \frac{\partial f_{cu}}{\partial \emptyset} = \frac{\frac{F}{\pi \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2}}{\partial \emptyset} = -\frac{8F}{\pi * \emptyset^3} = -\frac{8 * 376.77 * 1000}{\pi * 149.5^3} = -0.287 \frac{N}{\text{mm}^3}$$

Coefficiente de Sensibilidad de fuerza, F:

$$c_F = \frac{\partial f_{cu}}{\partial F} = \frac{\frac{F}{\pi \left(\frac{\phi}{2}\right)^2}}{\partial F} = \frac{4}{\pi * \phi^2} = \frac{4}{\pi * 149.5^2} = 5.70 \times 10^{-5} \frac{1}{\text{mm}^2}$$

Entonces, la Incertidumbre estándar calculada de la Resistencia es:

$$u_{frc} = \sqrt{C_F^2 * u_F^2 + C_{\phi}^2 * u_{\phi}^2 + C_r^2 * S_r^2}$$

$$u_{frc} = \sqrt{5.70 \times 10^{-5}^2 * 240^2 + (-0.287)^2 * 0.0247^2 + 1^2 * 0.693^2}$$

$$u_{frc} = 0.693 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0.693 \text{ MPa}$$

#### 4.1.5.2.6 Incertidumbre Estándar Combinada ( $u_{\delta}$ ):

Para la densidad se calculan los coeficientes de sensibilidad de la masa, diámetro y altura, del mismo modo que en el caso de la resistencia, se toman valores de masa, diámetro y altura que permitan obtener los valores más altos de coeficientes de sensibilidad.

Coefficiente de sensibilidad de la Masa,  $c_M$ :

$$c_M = \frac{\partial \delta}{\partial M} = \frac{4}{\pi * \phi^2 * h} = \frac{4}{\pi * 149.5^2 * 299} = 190.527 \frac{1}{\text{m}^3}$$

Coefficiente de Sensibilidad del diámetro,  $\phi$ :

$$c_{\phi d} = \frac{\partial \delta}{\partial \phi} = -\frac{8M}{\pi * \phi^3 * h} = -\frac{8 * 13090 * 1000000000}{\pi * 149.5^3 * 299} = -33366.82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^4}$$

Coefficiente de sensibilidad del área,  $c_h$ :

$$c_h = \frac{\partial \delta}{\partial h} = -\frac{4M}{\pi * \phi^2 * h^2} = -\frac{4 * 13090 * 1000000000}{\pi * 149.5^2 * 299^2} = -8341.71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^4}$$

Por lo tanto, la incertidumbre estándar combinada de la densidad,  $u_{\delta}$ , es igual a:

$$u_{\delta} = \sqrt{c_M^2 * u_M^2 + c_{\phi d}^2 * u_{\phi d}^2 + c_h^2 * u_h^2 + C_r^2 * S_r^2}$$

$$u_{\delta} = \sqrt{(0.268/1000)^2 * 190.52^2 + (-33366.82)^2 * \frac{0.0247^2}{1000} + (-8341.71)^2 * 0.294 / 1000^2 + 1^2 * 23.501^2}$$

$$u_{\delta} = 23.643 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### 4.1.5.2.7 Incertidumbre Expandida.

Se calculó la incertidumbre expandida para la resistencia y para la densidad considerando un nivel de confianza del 95.45% al que le corresponde un factor de cobertura  $k=2$ .

$$U = k * u_c$$

$$U_{f'c} = u_{f'c} * 2 = 0.69 \text{ MPa} * 2 = 1.4 \text{ MPa}$$

$$U_{\delta} = u_{\delta} * 2 = 23.643 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2 = 47 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### 4.1.5.2.8 Expresión final de resultados.

Se calculó la incertidumbre asociada al resultado de resistencia y densidad del hormigón, esto para la primera resistencia elaborada de 210kg/cm<sup>2</sup>, el valor de resistencia se expresa con una aproximación de 0.1Mpa y la densidad con una aproximación de 10 kg/cm<sup>3</sup>, tal como lo especifica la ASTM C39/C39M-18 "Standart Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens".

En cuanto al valor numérico de la incertidumbre tanto de la resistencia como de la densidad, esta se expresa con dos cifras significativas de acuerdo a lo recomendado en la GUM (2008).

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$\text{Resistencia} = f'c \text{ (unidades)} \pm U_{f'c} \text{ (unidades)}$$

$$\text{Resistencia} = 19.1 \text{ MPa} \pm 1.4 \text{ Mpa}$$

$$\text{Densidad} = \delta \text{ (unidades)} \pm U_{\delta} \text{ (unidades)}$$

$$\text{Densidad} = 2350 \text{ kg/m}^3 \pm 47 \text{ kg/m}^3$$



#### 4.1.5.3 Resultados obtenidos.

En las tablas 4.11 y 4.12 se presenta un resumen con los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre tanto para resistencia como para densidad del hormigón, esto para las 4 dosificaciones con las que se trabajó (210 kg/cm<sup>2</sup>, 280 kg/cm<sup>2</sup>, 350 kg/cm<sup>2</sup> y 425 kg/cm<sup>2</sup>). En el anexo IX se muestran las tablas de cálculo generadas para la obtención de las tablas resumen mostradas a continuación.

**Tabla 4.11 Resistencia a la compresión del hormigón e incertidumbre asociada.**

RESISTENCIA (f'c)			
N°	VALOR MEDIDO	±	INCERTIDUMBRE
R1	19,1 Mpa	±	1,4 Mpa
R2	29,8 Mpa	±	1,3 Mpa
R3	34,2 Mpa	±	1,6 Mpa
R4	39,6 Mpa	±	1,5 Mpa

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

**Tabla 4.12 Densidad del hormigón e incertidumbre asociada.**

DENSIDAD ( δ )			
N°	VALOR MEDIDO	±	INCERTIDUMBRE
R1	2350 kg/m <sup>3</sup>	±	47 kg/m <sup>3</sup>
R2	2358 kg/m <sup>3</sup>	±	37 kg/m <sup>3</sup>
R3	2335 kg/m <sup>3</sup>	±	46 kg/m <sup>3</sup>
R4	2336 kg/m <sup>3</sup>	±	43 kg/m <sup>3</sup>

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

## 4.2 APLICACIÓN DE PRUEBAS DE SIGNIFICACIÓN.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente se realizó la aplicación de pruebas de significación (f y t) a los resultados obtenidos de las pruebas intralaboratorio, en la tabla 4.13 se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de pruebas de significación. En el anexo XI se muestran las tablas de cálculo generadas para la obtención de los resultados a continuación mostrados.

**Tabla 4.13 Aplicación de prueba de significación en ensayos intralaboratorio.**

RESISTENCIA ( kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA ( Mpa)	PRUEBAS DE SIGNIFICACIÓN							
		F calc.	F crit.	T calc.	T crit.	T calc.	T crit.	T calc.	T crit.
				Operador 1-2		Operador 2-3		Operador 1-3	
<b>210</b>	<b>20,5</b>	0,118	4,242	0,499	2,473	0,723	2,473	2,146	2,473
<b>280</b>	<b>27,5</b>	0,021	4,242	0,054	2,473	0,788	2,473	1,087	2,473
<b>350</b>	<b>34,3</b>	0,216	4,242	0,345	2,473	1,186	2,473	1,068	2,473
<b>425</b>	<b>41,7</b>	1,528	4,242	1,315	2,473	0,855	2,473	2,068	2,473

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

De los resultados obtenidos de las pruebas de significación se observa que, para todas las resistencias con las que se trabajó, se comprueba la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre el conjunto de analistas,  $F_{calc}$ . Es menor que  $F_{crit}$ , al comprobar esta hipótesis, se procede a la aplicación de la prueba t que permite realizar una comparación más minuciosa entre parejas de operadores. Al aplicar la prueba t, se observa que no hay diferencias significativas entre cada pareja de operadores comparada ( $T_{calc} < T_{crit}$ ).

### 4.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS INTERLABORATORIOS.

Se realizaron pruebas interlaboratorio entre el LEMSUR y dos laboratorios participantes con el fin de comparar los resultados obtenidos, se ensayaron 4 probetas por resistencia en cada laboratorio, en la tabla 4.14 se muestran los resultados obtenidos en cada laboratorio. En el anexo X se muestran los informes de los ensayos interlaboratorio realizados.

**Tabla 4.14 Resultados obtenidos en pruebas interlaboratorio realizadas.**

PRUEBAS INTERLABORATORIO					
RESISTENCIA DOSIFICADA		LABORATORIOS PARTICIPANTES			
RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (MPa)	N° PROBETAS	LEMSUR	LABORATORIO 1	LABORATORIO 2
210	20,5	1	20,3	22,5	19,7
		2	19,1	22,8	15,6
		3	18,0	19,8	17,4
		4	19,1	20,3	15,7
280	27,5	1	31,0	36,7	31,2
		2	29,8	35,7	26,6
		3	28,7	31,6	32,5
		4	29,9	35,0	29,7
350	34,3	1	36,1	34,0	30,4
		2	34,2	35,2	28,5
		3	32,3	39,5	28,6
		4	34,2	33,3	36,7
425	41,7	1	41,1	44,0	40,0
		2	39,6	47,5	42,8
		3	38,2	49,3	47,5
		4	39,6	47,4	45,5

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

**4.3.1 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).**

Se realizó un análisis de varianza y aplicación de pruebas de significación para cada resistencia para determinar la existía diferencias significativas entre laboratorios, esto siguiendo el procedimiento de cálculo descrito en la sección 2.4.3.1 y utilizando la herramienta de análisis de datos proporcionada por Excel, comprobando así la similitud en los resultados obtenidos entre los dos métodos.

En la tabla 4.15 se presenta un resumen de los resultados obtenidos del análisis de varianza realizado entre laboratorios y en el anexo XI se muestran las tablas de cálculo realizadas para la obtención de los resultados mostrados a continuación.

**Tabla 4.15 Análisis de varianza y aplicación de pruebas de significación entre laboratorios.**

RESISTENCIA ( kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA ( Mpa)	ORIGEN DE VARIANZA		PARÁMETROS OBTENIDOS			
		Entre grupos	Dentro del grupo	Coeficiente de Variación de Repetibilidad CVr (%)	Coeficiente de Variación de Reproducibilidad CVR (%)	F calc.	F crit.
210	20,5	36,15	18	7,37	12,78	9,04	5,71
280	27,5	61,74	36,71	6,4	10,40	7,56	5,71
350	34,3	41,88	75,09	8,6	10,09	2,51	5,71
425	41,7	111,37	50,77	5,45	9,78	9,87	5,71

ELABORADO POR: Sandy Lisintuña.

Del análisis de varianza realizado se observa que existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en cada laboratorio ( $F_{calc.} > F_{crit.}$ ) y que la variación de los resultados entre grupos es mayor que la variación dentro de cada grupo, excepto para la resistencia de 350 kg/cm<sup>2</sup> en la que se observa que no hay diferencias significativas entre los resultados obtenidos en cada laboratorio ( $F_{calc.} < F_{crit.}$ ).

#### **4.4 COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS PARA LOS PARÁMETROS DE VALIDACIÓN.**

- Los resultados obtenidos de los ensayos intralaboratorio se encuentran dentro del intervalo de trabajo tanto del método como del instrumento, por lo que se ratifica el cumplimiento de este objetivo.
- Se determinó la robustez del método mediante la aplicación del test de Youden y Steiner, comprobando así, que el método no es sensible a los parámetros seleccionados que fueron variados.
- Se calculó la repetibilidad y reproducibilidad en los ensayos intralaboratorio mediante la obtención de los coeficientes de variación y se demostró que no en todas las resistencias con las que se trabajó, dicho coeficiente cumple con lo especificado en la normativa ( $Cv < 2,4\%$ ). Además, no se pudo demostrar la veracidad del método ya que no se contó con material de referencia certificado que permitiera dicho propósito, esto debido al

tiempo que implicaría el solicitar dicho material a los organismos respectivos.

Dentro de este contexto, no se pudo cumplir con el objetivo de demostrar la exactitud del método.

Se demostró la robustez del método de ensayo ante la variación de parámetros como: operador, temperatura de curado, temperatura de ensayo y humedad de ensayo, cumpliéndose así con este objetivo en específico.

- Del estudio de repetibilidad y reproducibilidad aplicado en mediciones de diámetro y altura se obtuvo una relación entre repetibilidad y reproducibilidad mayor al 30%, demostrando así, en base a la bibliografía consultada, que el sistema de medición no es aceptable y debe ser mejorado en diferentes aspectos.
- Se calculó la incertidumbre asociada al resultado del ensayo, resistencia y densidad del hormigón, cumpliéndose así con el objetivo planteado.

#### **4.5 DISEÑO FINAL DEL PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN.**

No se ha podido cumplir con los objetivos de validación planteados en su totalidad, por lo que no es posible avanzar al siguiente punto del procedimiento de validación.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 5.1 APORTES DEL PRESENTE TRABAJO.

El presente trabajo ha servido como un precedente en el que se basarán los estudios de validación que se realicen a futuro en LEMSUR, permitiendo así corregir y mejorar el diseño y aplicación del procedimiento de validación para ensayos en cilindros de hormigón, y procedimientos de validación en general.

#### 5.2 CONCLUSIONES.

- En base a lo especificado en la norma ISO 17025:2017, al ser el ensayo a compresión en cilindros planteado en el presente documento, un método normalizado, no es necesaria la validación del mismo sino más bien la verificación de éste, por lo que, como resultado final del presente trabajo se tiene una verificación del desempeño del método de ensayo mencionado, permitiendo así, detectar aspectos que necesitan ser mejorados con el objetivo de aumentar el nivel de confianza en los resultados emitidos por el laboratorio.
- La falta de disponibilidad de material de referencia certificado dificultó la demostración de exactitud del método, demostrando así que éste es preciso más no veraz. La precisión se demostró mediante la obtención de coeficientes de variación (CV) de repetibilidad y reproducibilidad mismos que se encuentran dentro del valor especificado ( $\%Cv < 2,4\%$ ) por la normativa ASTM C39/C39M-18. Cabe recalcar que la precisión no pudo ser demostrada para todas las resistencias con las que se trabajó, ya que en el caso de la resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> se obtuvieron coeficientes de variación mayores al aceptado.
- Se calculó la incertidumbre asociada al resultado de ensayo, tanto para resistencia como para densidad del hormigón, debido a que los valores de

incertidumbre obtenidos para las 4 resistencias con las que se trabajó no difieren significativamente entre sí, se opta por escoger el valor más crítico de entre ellos para reportarlo como incertidumbre general del ensayo, la que es igual a  $\pm 1,6$  Mpa para la resistencia y  $\pm 47$  kg/m<sup>3</sup>.

- Los valores de incertidumbre calculados representan aproximadamente un 8% en el caso de la incertidumbre asociada al resultado de la resistencia del hormigón y el 1% en el caso de la incertidumbre asociada al resultado de densidad del hormigón, estos porcentajes pueden ser reducidos corrigiendo principalmente la homogeneidad en las muestras de ensayo utilizadas.
- En base a los resultado de las pruebas interlaboratorio realizadas y mediante la aplicación de pruebas de significación a dichos resultados, se concluye que existen diferencias significativas entre el LEMSUR y los laboratorios participantes, pudiéndose deber a que ninguno de los laboratorios maneja un sistema de gestión de calidad establecido, por lo que, no sé puede asegurar la competencia de los mismos, y tampoco la congruencia en los resultados comparados.
- Se demostró mediante la aplicación de un análisis de varianza y la aplicación de pruebas de significación, pruebas F y T, que no existen diferencias significativas entre los resultados de los ensayos intralaboratorio realizados entre los diferentes operadores, puesto que los valores tanto F calculado como de T calculado fueron en todos los casos, menores a los valores tabulados, demostrándose así la competencia de los operadores.
- El estudio de repetibilidad y reproducibilidad realizado para mediciones de diámetro y altura demuestra que el sistema de medición no es aceptable y debe ser mejorado, ya que se obtuvo una relación de repetibilidad y reproducibilidad de aproximadamente 66% respecto a la medición del diámetro y un 74% para la medición de altura, mayores al 30% especificado en la literatura consultada. Esto puede deberse, entre otros factores, a la falta de

homogeneidad de las probetas en cuanto a sus dimensiones, lo que se debió a que los moldes utilizados para la elaboración de los mismos no fueron estandarizados y variaban significativamente entre ellos.

- En los resultados mostrados del estudio R&R en la tabla 4.7 y 4.8, se observa que el porcentaje de repetibilidad es mayor que el de reproducibilidad en los dos casos, en base a la bibliografía consultada, esto puede deberse a que el instrumento de medida, en este caso, el vernier y el flexómetro; necesitan mantenimiento y debido a que existe una variabilidad excesiva en las apreciaciones de los operadores y en las partes medidas, es decir, irregularidades en estas.
- Se demostró la robustez del método mediante la aplicación del test de Youden y Steiner, verificando así, que el método no es sensible a la variación de parámetros tales como: operador, temperatura de curado, temperatura de ensayo y humedad de ensayo. El test fue aplicado únicamente para la primera de las resistencias con las que se trabajó, pero debido a que todas las probetas fueron elaboradas y ensayadas bajo condiciones similares, se confirma la robustez del método en sí.
- Para la verificación del desempeño del método se seleccionaron parámetros tales como: intervalo de trabajo, robustez, incertidumbre, exactitud y por último repetibilidad y reproducibilidad; el análisis de estos parámetros arrojaron resultados satisfactorios para los tres primeros, mientras que los dos últimos parámetros no pudieron ser desarrollados en su totalidad en el caso de la exactitud debido a que no se pudo obtener material de referencia ya que dicha gestión implicaba un tiempo considerable; y en el caso del estudio de repetibilidad y reproducibilidad es necesario realizar mejoras en el sistema de medición para obtener un valor menor o igual a 30%, tal como lo recomienda la bibliografía.



### **5.3 RECOMENDACIONES PARA FUTURAS VALIDACIONES.**

Para futuros estudios tanto de validación como de verificación que se realicen en el LEMSUR, se recomienda lo siguiente:

- Adquirir moldes que cumplan con las especificaciones técnicas de las normativas correspondientes, esto para el caso de ensayos como el de compresión en cilindros, ya que las condiciones de las probetas juegan un papel muy importante en la determinación de los parámetros que se desea analizar.
- Si bien, el proceso de elaboración de muestras para ensayos se encuentra detallado en las normativas, sería conveniente realizar prácticas de moldeo de especímenes con los operadores, esto con el fin de verificar que en conjunto su desempeño sea similar y las probetas elaboradas sean lo más homogéneas posibles.
- Gestionar material de referencia para los ensayos con el fin de poder comparar los resultados obtenidos con un valor certificado que permita determinar la veracidad y por tanto, la exactitud del método.
- Para la realización de ensayos interlaboratorio, es recomendable ejecutarlos con laboratorios acreditados ya que así se asegura la calidad de los resultados y es posible llevar a cabo una comparación de resultados más fiable. Para dicho propósito es necesario recurrir a laboratorios extranjeros ya que en el país no se cuenta con laboratorios acreditados.
- Los resultados del estudio de repetibilidad y reproducibilidad de dos factores (operadores y partes) realizado puede no representar la calidad de las mediciones del laboratorio en sí, por lo que para tener un diagnóstico más preciso y confiable, es necesaria la incorporación de un tercer factor que puede ser un segundo sistema de medición, esto según la bibliografía consultada.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Alcantud, J. (2012). *Departamento de matemáticas. Parámetros estadísticos. Cálculo, significado y propiedades.*
- Arvizu, R., Lara, V., Mitani, Y., & Reyes, A. (2008). *Pruebas de aptitud técnica en Aguas Residuales.* Centro Nacional de Metrología. México.
- Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO, (2010). *Tecnología del concreto: Materiales, propiedades y diseño de mezclas* (3era ed.). Colombia: Nomos Impresores.
- Bedregal, P., Torres, B., Ubillús, M., & Mendoza, P. (2008). *Aplicación de la prueba de Youden y Steiner para la evaluación de la robustez del método de determinación multielemental en sedimento marino usando el análisis por activación neutrónica instrumental.* Instituto peruano de energía nuclear. Perú.
- Botella, P., Alacreu, M., & Martínez, M. (2014). *Inferencia estadística (intervalos de confianza y p-valor). Comparación de dos poblaciones (test t de comparación de medias, comparación de dos proporciones, comparación de dos varianzas).*
- Botero Arbeláez, M., & Arbeláez Sañazar, O., & Mendoza Vargas, J (2007). *Método Anova utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición.* Scientia Et Technica, XIII (37), 533-537.
- CEMEX Concretos (s.f.). Guía del usuario de concreto profesional. *Agregados para el concreto.* Obtenido de: [http://imcyc.com/biblioteca/ Archivos PDF/Agregados%20Generales/Agregados%20Para%20Concreto.pdf](http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Agregados%20Generales/Agregados%20Para%20Concreto.pdf)
- Centro Español de Metrología. (2008). *Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM).* Comité Conjunto de Guías en Metrología., 3er. edición, 1. 2018, abril 03, De google Base de datos.

- Centro Español de Metrología. (2012). *Vocabulario Internacional de Metrología- Conceptos generales y fundamentals, y términos asociados (VIM)* (3era ed). España.
- Crubellati, R., & Di Risio, C. (2009). *Aspectos prácticos de la validación e incertidumbre en medidas químicas*. Buenos Aires: CCC Educando. Av. Warnes 2361/5.
- Delgado, G. (2009). *Validación y verificación de métodos de ensayos. Un dilema en los laboratorios de ensayos y en las auditorías de la acreditación*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/260676503\\_Validacion\\_y\\_verifi\\_cacion\\_de\\_metodos\\_de\\_ensayos\\_Un\\_dilema\\_en\\_los\\_laboratorios\\_de\\_ensayos\\_y\\_en\\_las\\_auditorias\\_de\\_la\\_acreditacion](https://www.researchgate.net/publication/260676503_Validacion_y_verifi_cacion_de_metodos_de_ensayos_Un_dilema_en_los_laboratorios_de_ensayos_y_en_las_auditorias_de_la_acreditacion)
- Eurolab España. P.P. Morillas y colaboradores. Guía Eurachem: *La adecuación al uso de los métodos analíticos – Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados* (1ª ed. 2016). Disponible en [www.eurachem.org](http://www.eurachem.org).
- Eurolab España. P.P. Morillas y colaboradores. Guía CG Eurachem/CITAC: *Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas* (1ª ed. 2012). Disponible en [www.eurachem.org](http://www.eurachem.org).
- Galindo, E. (2006). *Estadística para Administración e Ingeniería. Métodos y Aplicaciones*. Quito: ProCiencia.
- Garré, J. (s.f). Laboratorios Entema. *Importancia de los estudios de estabilidad*. Recuperado de: <http://www.entema.es/blog/importancia-de-los-estudios-de-estabilidad/>
- Gómez, S., & Gutiérrez, B. (2001). *Pruebas de significación en Bioestadística*. Hospital la Fe. Valencia
- Hernández, M. (2012). *Estimación de incertidumbres. Guía GUM*. Revista Española de Metrología., (24), pp. 114-130.

- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), (2006). *Pruebas de resistencia a la compresión del concreto*. México. Obtenido de: <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>.
- Instituto de Salud Pública de Chile. (2010). *Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición: "Aspectos generales sobre la validación de métodos"*.
- Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas LEMSUR. (2017). *Procedimiento Específico para Ensayos de Compresión de Cilindros*. Quito.
- Luna, G. (2014). *Estudio del Hormigón. Guía Didáctica para el Diseño de Mezclas*. Quito: Edicumbre.
- Llamosa, L., Meza, L., & Botero, M. (2007). *Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando del método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la Norma Técnica NTC-ISO/IEC 17025*. Scientia et Technica, XIII, ISSN 0122-1701.
- Norma ASTM C29/C29M-17. (2017). *Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma ASTM C33/C33M-16. (2016). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma ASTM C39/C39M-18. (2017). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma ASTM C40/C40M-16. (2016). *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates Concrete*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.

- Norma ASTM D75/D75M-14. (2014). *Standard Practice for Sampling Aggregates*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma ASTM C127-15. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma ASTM C128-15. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma ASTM C131/C131M-14. (2014). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma ASTM C136/C136M-14. (2014). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma ASTM C187-16. (2016). *Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma ASTM C188 - 17. (2017). *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma ASTM C191-18 (2018). *Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma ASTM C1157 / C1157M - 17. (2017). *Standard Performance Specification for Hydraulic Cement*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Norma Internacional UNE-ISO 3534-1: 2013. *Estadística-Vocabulario y Símbolos*. International Standardization Organization (ISO). Geneva.

- Norma Internacional ISO 9000: 2015. *Sistemas de Gestión de la Calidad-Fundamentos y vocabulario*. International Standardization Organization (ISO). Geneva.
- Norma Internacional ISO 9001: 2015. *Sistemas de la Gestión de la Calidad-Requisitos*. International Standardization Organization (ISO). Geneva.
- Norma Internacional ISO/IEC 17025. (2017). *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración (Segunda edición)*. International Standardization Organization (ISO). Geneva.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 151:2010. *Cemento Hidráulico. Definición de términos (Tercera revisión)*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2617. (2012). *Hormigón de Cemento Hidráulico. Agua para Mezcla. Requisitos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380. (2011). *Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para Cementos Hidráulicos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 3534-2. (2013). *Vocabulario y Símbolos. Parte 2: Estadística Aplicada (IDT)*. International Standardization Organization.
- Organismo de Acreditación Ecuatoriano. (2014). *OEA G02 R01 Guía para la expresión de la incertidumbre de medida en las calibraciones*, 1-18. [www.oae.gob.ec](http://www.oae.gob.ec)
- Portuondo Paisan, Y., & Portuondo Moret, J. (2010). *La repetibilidad y reproducibilidad en el aseguramiento de la calidad de los procesos de medición*. Tecnología Química, XXX (2), 117-121.

- Servicio de Acreditación Ecuatoriano. (2015). *Acreditación de Laboratorios de ensayos y calibraciones según NTE INEN-ISO/IEC 17025:2006*, 1-18.  
[www.acreditación.gob.ec](http://www.acreditación.gob.ec)
- Servicio de Acreditación Ecuatoriano. (2016). *Estimación de la Incertidumbre*.  
[www.acreditación.gob.ec](http://www.acreditación.gob.ec)
- Servicio de Acreditación Ecuatoriano. (2016). *Validación de Métodos*.  
[www.acreditación.gob.ec](http://www.acreditación.gob.ec)
- Servicio de Acreditación Ecuatoriano. (2017). *Estadística Básica*, 1-54.  
[www.acreditación.gob.ec](http://www.acreditación.gob.ec)
- Walpole, R., Myers, R., & Myers, S. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson.

**ANEXOS**



## **ANEXO I**

**TABLA DE VALORES PARA UNA DISTRIBUCIÓN F CON UN NIVEL DE  
CONFIANZA DEL 95.45% Y UN ANÁLISIS DE 2 COLAS.**

Nivel de probabilidad  $\alpha = 0.025$

n <sub>2</sub>	n <sub>1</sub> : Grados de libertad para el numerador																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	30	40	50	100	$\infty$
1	647.8	789.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3	968.6	973.0	976.7	979.8	982.5	984.9	993.1	1001	1006	1008	1013	1018
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.41	39.42	39.43	39.43	39.45	39.46	39.47	39.48	39.49	39.50
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.37	14.34	14.30	14.28	14.25	14.17	14.08	14.04	14.01	13.96	13.90
4	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.79	8.75	8.71	8.68	8.66	8.58	8.46	8.41	8.38	8.32	8.26
5	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.57	6.52	6.49	6.46	6.43	6.33	6.23	6.18	6.14	6.08	6.02
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.41	5.37	5.33	5.30	5.27	5.17	5.07	5.01	4.98	4.92	4.85
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.71	4.67	4.63	4.60	4.57	4.47	4.36	4.31	4.28	4.21	4.14
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.24	4.20	4.16	4.13	4.10	4.00	3.89	3.84	3.81	3.74	3.67
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.91	3.87	3.83	3.80	3.77	3.67	3.56	3.51	3.47	3.40	3.33
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.66	3.62	3.58	3.55	3.52	3.42	3.31	3.26	3.22	3.15	3.08
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.47	3.43	3.39	3.36	3.33	3.23	3.12	3.06	3.03	2.96	2.88
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.32	3.28	3.24	3.21	3.18	3.07	2.96	2.91	2.87	2.80	2.73
13	6.41	4.97	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.20	3.15	3.12	3.08	3.05	2.95	2.84	2.78	2.74	2.67	2.60
14	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	3.09	3.05	3.01	2.98	2.95	2.84	2.73	2.67	2.64	2.56	2.49
15	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	3.01	2.96	2.92	2.89	2.86	2.75	2.64	2.59	2.55	2.47	2.40
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.94	2.89	2.85	2.82	2.79	2.68	2.57	2.51	2.47	2.40	2.32
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.92	2.87	2.82	2.79	2.75	2.72	2.62	2.50	2.44	2.41	2.33	2.25
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.81	2.77	2.73	2.70	2.67	2.56	2.44	2.38	2.35	2.27	2.19
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.76	2.72	2.68	2.65	2.62	2.51	2.39	2.33	2.30	2.22	2.15
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.72	2.68	2.64	2.60	2.57	2.46	2.35	2.29	2.25	2.17	2.09
21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.68	2.64	2.60	2.56	2.53	2.42	2.31	2.25	2.21	2.13	2.04
22	5.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.63	2.60	2.56	2.53	2.50	2.39	2.27	2.21	2.17	2.09	2.00
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.62	2.57	2.53	2.50	2.47	2.36	2.24	2.18	2.14	2.06	1.97
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.59	2.54	2.50	2.47	2.44	2.33	2.21	2.15	2.11	2.02	1.94
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.56	2.51	2.48	2.44	2.41	2.30	2.18	2.12	2.08	2.00	1.91
26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.54	2.49	2.45	2.42	2.39	2.28	2.16	2.09	2.05	1.97	1.88
27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63	2.57	2.51	2.47	2.43	2.39	2.36	2.25	2.13	2.07	2.03	1.94	1.85
28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.37	2.34	2.23	2.11	2.05	2.01	1.92	1.83
29	5.59	4.20	3.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.48	2.43	2.39	2.36	2.32	2.21	2.09	2.03	1.99	1.90	1.81
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.20	2.07	2.01	1.97	1.88	1.79
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.33	2.29	2.25	2.21	2.18	2.07	1.94	1.88	1.83	1.74	1.64
50	5.34	3.97	3.39	3.05	2.83	2.67	2.55	2.46	2.38	2.32	2.26	2.22	2.18	2.14	2.11	1.99	1.87	1.80	1.75	1.66	1.55
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.22	2.17	2.13	2.09	2.06	1.94	1.82	1.74	1.70	1.60	1.48
70	5.25	3.89	3.31	2.97	2.75	2.59	2.47	2.38	2.30	2.24	2.18	2.14	2.10	2.06	2.03	1.91	1.78	1.71	1.66	1.56	1.44
80	5.22	3.86	3.28	2.95	2.73	2.57	2.45	2.35	2.28	2.21	2.16	2.11	2.07	2.03	2.00	1.88	1.75	1.68	1.63	1.53	1.40
90	5.20	3.84	3.26	2.93	2.71	2.55	2.43	2.34	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.98	1.86	1.73	1.66	1.61	1.50	1.37
100	5.18	3.83	3.25	2.92	2.70	2.54	2.42	2.32	2.24	2.17	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.85	1.71	1.64	1.59	1.48	1.35
$\infty$	5.03	3.69	3.12	2.79	2.57	2.41	2.29	2.19	2.11	2.05	1.99	1.95	1.90	1.87	1.83	1.71	1.57	1.49	1.43	1.32	1.00

## **ANEXO II**

**TABLA DE VALORES PARA UNA DISTRIBUCIÓN T CON UN NIVEL DE  
CONFIANZA DEL 95.45% Y UN ANÁLISIS DE 2 COLAS.**

v.l.	Nivel de probabilidad ( $\alpha$ )									
	0.4	0.3	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025
1	0.325	0.727	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.656	127.321
2	0.289	0.617	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089
3	0.277	0.584	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453
4	0.271	0.569	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598
5	0.267	0.559	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773
6	0.265	0.553	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317
7	0.263	0.549	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029
8	0.262	0.546	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833
9	0.261	0.543	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690
10	0.260	0.542	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581
11	0.260	0.540	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497
12	0.259	0.539	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428
13	0.259	0.538	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372
14	0.258	0.537	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326
15	0.258	0.536	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286
16	0.258	0.535	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252
17	0.257	0.534	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222
18	0.257	0.534	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197
19	0.257	0.533	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174
20	0.257	0.533	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153
21	0.257	0.532	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135
22	0.256	0.532	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119
23	0.256	0.532	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104
24	0.256	0.531	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091
25	0.256	0.531	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078
26	0.256	0.531	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067
27	0.256	0.531	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057
28	0.256	0.530	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047
29	0.256	0.530	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038
30	0.256	0.530	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030
35	0.255	0.529	0.852	1.052	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	2.996
40	0.255	0.529	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971
45	0.255	0.528	0.850	1.049	1.301	1.679	2.014	2.412	2.690	2.952
50	0.255	0.528	0.849	1.047	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	2.937
60	0.254	0.527	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915
70	0.254	0.527	0.847	1.044	1.294	1.667	1.994	2.381	2.648	2.899
80	0.254	0.526	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	2.887
90	0.254	0.526	0.846	1.042	1.291	1.662	1.987	2.368	2.632	2.878
100	0.254	0.526	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	2.871
$\infty$	0.675	0.525	0.675	1.037	1.282	1.645	1.960	2.327	2.576	2.808

**ANEXO III**

**FORMATO DE DATOS PRIMARIOS.**



## **ANEXO IV**

**ENSAYOS EN AGREGADOS Y CEMENTO.**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO**

ENF. No. 13 - 1129 - 1  
Hoja: 03 de 06

Quito, 4 de junio de 2013

**SOLICITA:** SANDY MARIELLA LOPEZ LUÑA CORREA

**Atención:** Sandy Maríella Lopez Luña Correa

**Dirección:** Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía -Epi

TESIS PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE

**PROYECTO:** INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CUADROS DE HORMIGÓN  
CASO DE APLICACIÓN LEMSUR-EPN

**CONTRATISTA:** \*\*\*

**FINALIZADOR:** \*\*\*

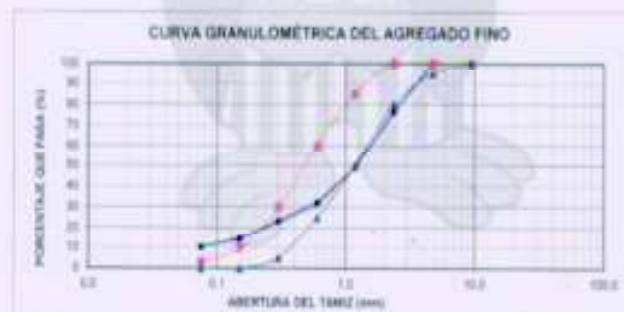
**MUESTRA:** AGREGADO FINO

**PROCEDENCIA:** NIÑA PISO HOLCOM

**NORMA:** ASTM C136M-14 - ASTM C136M-13

TAMIZ No.	TAMIZO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
20"	3.0	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 4	4.750	1.8	0.2	0.2	99.8
No. 8	2.360	232.8	23.4	23.6	76.4
No. 16	1.180	273.4	27.3	51.0	49.0
No. 30	0.600	164.7	16.5	68.0	32.0
No. 50	0.300	87.9	8.8	76.8	23.2
No. 100	0.150	80.0	8.0	88.7	11.3
No. 200	0.075	47.7	4.7	93.8	6.2
SANCIÓN		100.3	10.1	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>956.4</b>	<b>MÓDULO FINURA</b>	<b>3.1</b>	

Observación: El muestreo, procedencia y ensayo son responsabilidad del cliente.



*[Firma]*

ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

INV. No.18-0129-1

Quito, 4 de junio de 2018

Foja 04 de 06

**SOLICITA:** SANDY MIRELLA LISINTUÑA CORREA  
**Aseñador:** Sandy Mirella Lisintuña Correa  
**Dirección:** Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía-Epi

**PROYECTO:** TESIS PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE DESCRIPCIÓN PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN-CASO DE APLICACIÓN LEMSUR-EPN.

**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*  
**MUESTRA:** AGREGADO GRUESO  
**MINA:** PIPU-HOL/CM  
**NORMA:** ASTM C136M-14 - ASTM C136-16

PESO INICIAL (g)		1000.00	Número de Tamazo		17
TAMIZ No.	TAMAZO ABERTURA	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RET. ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1.125"	27.30	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	276.0	1.8	1.8	98.2
1/2"	12.50	9150.0	60.1	61.9	38.1
No. 4	4.75	3130.0	21.7	83.6	16.4
No. 8	2.50	0.0	0.0	83.6	16.4
Residuo	0.00	363.0	4.4	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>15200.0</b>	<b>SI. FINURA</b>	<b>7.91</b>	

Observación: El muestreo, procedencia y ensayo son responsabilidad de cliente.



ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES**

IMP. No. 16 - 0120 - 1  
Hoja 02 de 06

Quito, 04 de junio del 2018

**SOLICITA:** SANDY MIRELA LIBENTUÑA CORREA

Asección: Sandy Mirela Libentuña Correa

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

**PROYECTO:** TESIS PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN-CASO DE APLICACION LEMSUR EPN.

**CONTRATISTA:** \*\*\*

**FISCALIZADOR:** \*\*\*

**MUESTRA:** AGREGADO FINO

**NORMAS:** INDICADAS

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (Nº 1 MEN EST 2010)				
PEL E.B.S. N°	unidad	1	2	3
Peso de la muestra en S.S.S	gr	347.7	330	344.71
Peso del Psicómetro + Muestra + Agua	gr	642.4	622.8	627.61
Peso del Psicómetro + Agua	gr	479	478	479
Peso de la Muestra Seca	gr	344.7	294.7	294.61
Peso Específico	gr/cm <sup>3</sup>	2.62	2.72	2.68
Peso Específico Aparente	gr/cm <sup>3</sup>	2.77	2.66	2.71
Peso Específico S.S.S	gr/cm <sup>3</sup>	2.67	2.76	2.62
Absorción de Agua	%	1.71	1.80	1.73

Peso específico Promedio: 2.58 gr/cm<sup>3</sup>  
Peso específico Aparente Promedio: 2.70 gr/cm<sup>3</sup>  
Peso específico S.S.S Promedio: 2.62 gr/cm<sup>3</sup>  
Absorción de Agua: 1.77 %

DENSIDAD APARENTES DE AGREGADOS (ASTM C29/C29M-17)				
PEL E.B.S. N°	unidad	1	2	3
Módulo N°		a	b	c
Diámetro Ø	cm	20.3	20.3	20.3
Altura h	cm	29.3	29.3	29.3
Peso Módel	gr	4800	4800	4800
Volumen Módel	cm <sup>3</sup>	9481.1	9481.1	9481.1
Peso Módel + Agregado Suelto	gr	20260.0	20230.0	20419
Peso Módel + Agregado Compactado	gr	22176	22126	22131
Peso Agregado Suelto	gr	17390.0	17330.0	17619
Peso Agregado Compactado	gr	17336	17126	17319
Densidad Aparente Suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1.82	1.82	1.82
Densidad Aparente Compactado	gr/cm <sup>3</sup>	1.81	1.81	1.81

Densidad Suelta Promedio: 1.82 gr/cm<sup>3</sup>  
Densidad Compactada Promedio: 1.81 gr/cm<sup>3</sup>

OBSERVACIONES: El muestreo, procedencia y ensayo son responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILCHIS  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES**

INF. No. 18 - 0129 - 1  
Hoja 01 de 08

Quito, 04 de Junio del 2018

**SOLICITA:** SANDY MRELLA LENTUÑA-CORREA

Atribución: Sandy Mrella Lentuña Correa

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

**PROYECTO:** TESIS PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN-CASO DE APLICACIÓN LEMSUR-EPN

**CONTRATISTA:** \*\*\*

**FISCALIZADOR:** \*\*\*

**MUESTRA:** AGREGADO GRUESO

**NORMAS:** INDICADAS

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (NTE MEN 827-2010)				
PROB. N°	unidad	1	2	3
Peso de la muestra en S.S.S	gr	3043	3096,9	3081,7
Peso de la Casaca	gr	1764	1764	1764
Peso de la Casaca + Muestra	gr	3067,5	3096,7	3081,3
Peso de la Muestra Sumergida en Agua	gr	1946,7	1921,7	1912,1
Peso de la Muestra Seca	gr	3111,8	3081,7	3078,71
Peso Específico	gr/cm <sup>3</sup>	2,74	2,81	2,89
Peso Específico Aparente	gr/cm <sup>3</sup>	2,76	2,72	2,71
Peso Específico S.S.S	gr/cm <sup>3</sup>	2,82	2,81	2,84
Absorción de Agua	%	1,71	1,89	1,72

Peso específico Promedio: 2,88 gr/cm<sup>3</sup> 52,8  
Peso específico Aparente Promedio: 2,71 gr/cm<sup>3</sup> 2044  
Peso específico S.S.S Promedio: 2,84 gr/cm<sup>3</sup>  
Absorción de Agua: 1,72 %

DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS (ASTM C26/C23M-17)				
PROB. N°	unidad	1	2	3
Molde N°		5	6	7
Diámetro Ø	cm	25,5	25,3	25,3
Altura h	cm	28	27,8	27,9
Peso Molde	gr	221,7	222,9	221,7
Volumen Molde	cm <sup>3</sup>	1429,7	1428,2	1429,3
Peso Molde + Agregado Suelto	gr	2360,9	2372,0	2365,6
Peso Molde + Agregado Compactado	gr	2310	2310	2309,0
Peso Agregado Suelto	gr	1823,6	1816,0	1803,9
Peso Agregado Compactado	gr	2013	2013	2003,0
Densidad Aparente Suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1,28	1,29	1,29
Densidad Aparente Compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1,42	1,41	1,41

Densidad Suelta Promedio: 1,29 gr/cm<sup>3</sup>  
Densidad Compactada Promedio: 1,43 gr/cm<sup>3</sup>

**OBSERVACIONES:** El número, procedencia y ensayo son responsabilidad del cliente

ING. MERCEDES VILLACI  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1099



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

### ENSAVO DE ABRASIÓN

RF No: 18 - 0128 - 1  
Hoja 06 de 06

Quito, 4 de junio de 2018

SOLICITA: SANDY MIRELLA LISINTUÑA CORREA

Atención: Sandy Mirella Lisintuña Correa

Dirección: Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía -Ejpn

TESIS PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE

PROYECTO: INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN-CASO DE APLICACIÓN LEMSUR-EPN

CONTRATISTA: ---

FISCAL: OTANON ---

MINA: PFD-PULCSE

MUESTRA: AGREGADO GRUESO

NORMA: ASTM C131/C131M-14

GRADACIÓN	B	B	B
NÚMERO DE REVOLUCIONES	300	600	900
PESO INICIAL (g)	5004.0	5000.0	5000.0
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 100 REVOLUCIONES (g)	4772.30	4769.40	4770.80
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 600 REVOLUCIONES (g)	3817.30	3857.50	3607.70
PORCENTAJE DE PERDIDA 100 rev (%)	4.82	4.81	4.58
PORCENTAJE DE PERDIDA 600 rev (%)	21.70	22.08	21.85
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.21	0.21	0.21

Porcentaje de Pérdida 600 rev Promedio:	21.81	%
Coefficiente de Uniformidad Promedio:	0.21	

Observación: El muestra, procedencia y ensayo son responsabilidad del cliente

ING. MERCEDES VILLACIS  
REF. 003 LABORATORIO



GEN-MAT-18-0144

Tel.: 2976300  
Ext.: 1009

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 email: laboratoriocivil@epn.edu.ec





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 18 - 0129 - 1

Quito, 04 de junio del 2018

Hoja 05 de 06

**SOLICITA:** SANDY MIRELLA LISINTUÑA CORREA

Afiliación: Sandy Mirella Lisintuña Correa

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

TESIS PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACION Y CALCULO DE

**PROYECTO:** INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN-CASO DE APLICACIÓN LEMSUR-EPN

**CONTRATISTA:** \*\*\*

**FISCALIZADOR:** \*\*\*


**MUESTRA AGREGADO FINO**

MINA PISO-HOLCIM

**NORMA:** ASTM C 493-05-16



Observación: El muestreo, procedencia y ensayo son responsabilidad del cliente

  
ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

**ANEXO V**

**DOSIFICACIONES CALCULADAS.**



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

INF. No. 18-274-I  
Hoja 1 de 7

Quito, 13 de noviembre del 2018

**SOLICITA:** SANDY MIRELLA LISINTUÑA CORREA

Atención: Sandy Mirella Lisintuña Correa

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE

**PROYECTO:** INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN-CASO DE APLICACIÓN LEMSUR. EPN.

**CONTRATISTA:** \*\*\*

**FISCALIZADOR:** \*\*\*

**MINA:** PIFO


#### CONDICIONES DE DOSIFICACIÓN $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

- Condición de exposición normal
- Tamaño máximo del ripio 1 1/2"
- Sin inyección de aire ni aditivos
- Atentamiento 7.5 - 10 cm
- Se consideran los materiales en estado seco

#### RESUMEN DE RESULTADOS

CEMENTO (Sacos / m <sup>3</sup> )	UNDS PESO	DOSIS VOLUMEN	CEMENTO: 1 saco de 50.0 Kg	
			ARENA (cajonetas)	RIPO (cajonetas)
6.72	0.87 : 1 : 3.63 : 3.94	0.90 : 1 : 2.33 : 1.18	4 de 30 x 30 x 31	6 de 30 x 30 x 28

OBSERVACIÓN: \*\*\*\*

  
Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DEL LABORATORIO





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

INF. No. 18-274-I  
Hoja 2 de 7.

Quito, 13 de noviembre del 2018

SOLICITA: SANDY MIRELLA LISINTUÑA CORREA

Atención: Sandy Mirella Lisintuña Correa

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE

PROYECTO: INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN-CASO DE APLICACIÓN LEMSUR, EPN.

CONTRATISTA: \*\*\*

FISCALIZADOR: \*\*\*

MINA : PIFO

#### CONDICIONES DE DOSIFICACION $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

- Condición de exposición normal
- Tamaño máximo del ripio 1 1/2"
- Sin inyección de aire ni aditivos
- Asentamiento 7.5 - 10 cm
- Se consideran los materiales en estado seco

#### RESUMEN DE RESULTADOS

CEMENTO (Sacos / m <sup>3</sup> )	DOSIS PESO	DOSIS VOLUMEN	CEMENTO: 1 saco de 50.0 Kg	
			ARENA (cajonetas)	RIPIO (cajonetas)
8.00	0.702   3.14   3.49	0.73   2.62   2.82	4 de 30 x 30 x 27	5 de 30 x 30 x 30

OBSERVACIÓN: \*\*\*\*

Ing. Mercedes Villacia  
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

Dosif-18-002-I





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

ENF. No. 18-2744

Quito, 13 de noviembre del 2018

Hoja 3 de 7

**SOLICITA:** SANDY MIRELLA LISINTUÑA CORREA  
**Atención:** Sandy Mirella Lisintuña Correa  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE  
**PROYECTO:** INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE  
HORMIGÓN-CASO DE APLICACIÓN LEMSUR-EPN

**CONTRATISTA:** \*\*\*

**FISCALIZADOR:** \*\*\*

**MINA:** PIFO


#### CONDICIONES DE DOSIFICACION $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

- Condición de exposición normal
- Tamaño máximo del tipo 1:1/2"
- Sin inyección de aire ni aditivos
- Asentamiento 7.5 - 10 cm
- Se consideran los materiales en estado seco

#### RESUMEN DE RESULTADOS

CEMENTO (Sacos / m <sup>3</sup> )	DOSIS PESO	DOSIS VOLUMEN	CEMENTO: 1 saco de 50.0 Kg	
			ARENA (cajonetas)	RIPIO (cajonetas)
10.08	0.517 - 1.196 - 2.48	0.56 - 1.126 - 2	3 de 30 x 30 x 22	4 de 30 x 30 x 27

**OBSERVACIÓN:** \*\*\*\*

  
Ing. Mercedes Villacis  
JEFE DEL LABORATORIO



Dosif-18-002-1

Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

INF. No. 18-274-I  
Hoja 4 de 7

Quito, 13 de noviembre del 2018

SOLICITA: SANDY MIRELLA LISINTUÑA CORREA  
Atención: Sandy Mirilla Lisintuña Correa  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE  
PROYECTO: INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE  
HORMIGÓN-CASO DE APLICACIÓN LEMSUR-EPN

CONTRATISTA: \*\*\*  
FISCALIZADOR: \*\*\*  
MINA : PIFO

#### CONDICIONES DE DOSIFICACION $f_c = 425 \text{ kg/cm}^2$

- Condición de exposición normal
- Tamaño máximo del ripio 1 1/2"
- Sin inyección de aire ni aditivos
- Asentamiento 7.5 - 10 cm
- Se consideran los materiales en estado seco

#### RESUMEN DE RESULTADOS

CEMENTO (Sacos / m <sup>3</sup> )	DOSIS PESO	DOSIS VOLUMEN	CEMENTO: 1 saco de 50.0 Kg	
			AJENA (cajonetas)	RIPIO (cajonetas)
13.43	0.421 - 1.138 - 1.97	0.44 - 1.089 - 1.59	2 de 30 x 30 x 24	3 de 30 x 30 x 28

OBSERVACIÓN: \*\*\*\*

  
Ing. Mercedes Villacis  
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

Dosif.18-002-I

**ANEXO N° VI**

**ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS.**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS**



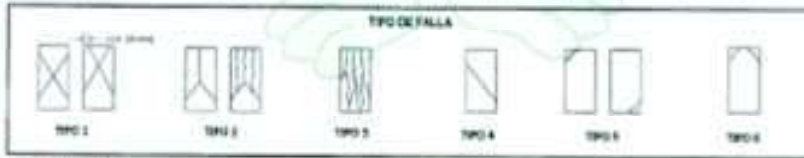
**COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN**

OTF No. 18-12754  
 Rev. 01 de 00

QMS 018 noviembre de 2010

**OBJETO:** BARRY ABRELLA LINDY BA FORRELLA  
**Asesor:** Barry Abrell Lindy Forrella  
**Director:** Ludwin De Thomas E11-253 Y Andaluza  
**PROYECTO:** PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALUACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE FORMACIÓN-CARGO DE APLICACIÓN LEMSUR, S.P.A.  
**CONTRATISTA:** ---  
**ENCARGADOR:** ---  
**PLANTILLA:** ---  
**NORMAS:** NTC 2009-175-000, ASTM C39M-14a

No.	DÍA DE FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN	DÍA DE ROTURA	ÁREA SECCIONAL (mm <sup>2</sup> )	CARGO MÁXIMO (kN)	DÍA DE ROTURA (MPa)	P. FÓRMULA (MPa)	CARGO		DEFORMACIÓN		TIPO DE FALLA
								MPa	kN	(MPa)	(MPa)	
1	11 ago 18	81.1.1	11 ago 18	41	110.01	1624	210	34.2	34.7	1.0	1000.1	
2	11 ago 18	81.1.2	11 ago 18	41	91.71	1400	210	34.2	34.2	1.0	1000.1	
3	11 ago 18	81.1.3	11 ago 18	41	121.48	1700	210	34.2	34.7	1.0	1000.1	
4	11 ago 18	81.1.4	11 ago 18	41	114.91	1600	210	34.2	34.1	1.0	1000.1	
5	11 ago 18	81.1.5	11 ago 18	41	110.41	1500	210	34.2	34.4	1.0	1000.1	
6	11 ago 18	81.1.6	11 ago 18	41	111.41	1700	210	34.2	34.4	1.0	1000.1	
7	11 ago 18	81.1.7	11 ago 18	41	110.41	1700	210	34.2	34.7	1.0	1000.2	
8	11 ago 18	81.1.8	11 ago 18	41	110.01	1700	210	34.2	34.1	1.0	1000.1	
9	11 ago 18	81.1.9	11 ago 18	41	110.71	1700	210	34.2	34.1	1.0	1000.1	
10	11 ago 18	81.1.10	11 ago 18	41	111.11	1600	210	34.2	34.1	1.0	1000.1	
11	11 ago 18	81.1.11	11 ago 18	41	111.41	1700	210	34.2	34.1	1.0	1000.1	
12	11 ago 18	81.1.12	11 ago 18	41	110.41	1600	210	34.2	34.1	1.0	1000.1	
13	11 ago 18	81.1.13	11 ago 18	41	110.41	1600	210	34.2	34.1	1.0	1000.1	
14	11 ago 18	81.1.14	11 ago 18	41	110.01	1600	210	34.2	34.7	1.0	1000.2	
15	11 ago 18	81.1.15	11 ago 18	41	110.71	1600	210	34.2	34.1	1.0	1000.1	



Observación: ---

*[Handwritten Signature]*  
 PAB. ABRELLA LINDY BA FORRELLA  
 JEFE DEL LABORATORIO



Tel: 2976300  
 Ext: 1503



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



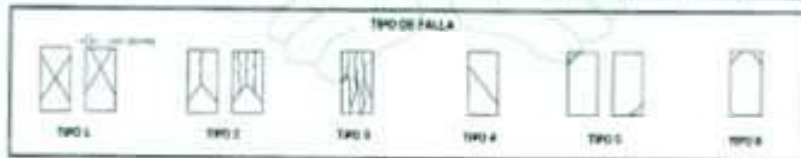
**COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN**

ENF. No. 15-12754  
 Mayo 22 de 2015

QMS-17 Revisión: 0-2015

**CLIENTE:** SANDY MORELA LINDOYCA CORREA  
**Asesoría:** Sandy Morela Lindoyca Correa  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 Y Aplicación  
**PROYECTO:** PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN CASO DE APLICACIÓN LEONOR EPI.  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**ENCARGADO:** \*\*\*  
**ANALIZADO:** \*\*\*  
**NOMBRE:** STEFANIE VILLACAMA - Jefa

No.	FECHA EXAMEN AL SER	MORFOMETRÍA	FECHA ROTURA	EDAD (días)	VOLÚMEN (mm <sup>3</sup> )	MASA (g)	DENS. (kg/m <sup>3</sup> )	F. COMPRESIÓN (MPa)	CÁRGA		RESISTENCIA		TIPO DE FALLA
									MPa	kg	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	
1	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	117.73	3064	260	37.4	34.4	34.7	349	3000.0	
2	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	99.79	2600	260	33.1	30.1	31.1	318	3000.0	
3	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	110.75	2946	260	38.1	34.2	34.7	349	3000.0	
4	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	110.30	2927	260	32.3	29.3	31.3	318	3000.0	
5	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	119.15	3168	260	34.0	31.0	31.1	317	3000.0	
6	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.18	2984	260	37.2	34.2	34.3	347	3000.0	
7	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	140.01	3704	260	34.9	31.9	32.1	324	3000.0	
8	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	101.24	2747	260	44.4	41.4	41.8	416	3000.0	
9	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.91	2984	260	39.0	36.0	36.1	360	3000.0	
10	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	142.56	3760	260	34.2	31.2	31.3	316	3000.0	
11	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.91	2984	260	39.0	36.0	36.1	360	3000.0	
12	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.91	2984	260	39.0	36.0	36.1	360	3000.0	
13	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.91	2984	260	39.0	36.0	36.1	360	3000.0	
14	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.91	2984	260	39.0	36.0	36.1	360	3000.0	
15	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.91	2984	260	39.0	36.0	36.1	360	3000.0	
16	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.91	2984	260	39.0	36.0	36.1	360	3000.0	
17	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.91	2984	260	39.0	36.0	36.1	360	3000.0	
18	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.91	2984	260	39.0	36.0	36.1	360	3000.0	
19	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.91	2984	260	39.0	36.0	36.1	360	3000.0	
20	17-ago-15	Ø1-Ø1	17-ago-15	42	111.91	2984	260	39.0	36.0	36.1	360	3000.0	



Observación: \*\*\*

*[Signature]*  
 Jefa del Laboratorio



Tel.: 2576300  
 Ext.: 1009





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS**



**COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN**

REF. No. 18-02734  
 Page 02 de 02

Fecha: 17 de noviembre de 2018

**INDICIA:** SANDY ARRILLA LINDIÑA CORREA  
**Ingeniero:** Sandy Minda Lumbao-Correa  
**Observación:** Laboratorio E11-251 y Andahuay  
**PROYECTO:** PROYECTO DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN COMO DE APLICACIÓN LEON B. SPN.  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FINANCIADOR:** \*\*\*  
**DOCUMENTO:** \*\*\*  
**SERIE:** STE-INS-1773-2018 - ARTIFICIO CHIMU - 1/4

No.	FECHA DE ENLAJE	MARCA DE HORMIGÓN	DIÁM. NOMINAL (mm)	ALTO NOMINAL (mm)	ÁREA TRANSV. (mm <sup>2</sup> )	V. DENS. (kg/m <sup>3</sup> )	FALLA		RESISTENCIA		TIPO DE FALLA	
							σ <sub>1</sub> (MPa)	σ <sub>2</sub> (MPa)	σ <sub>1</sub> (MPa)	σ <sub>2</sub> (MPa)		
1	17 ago 18	R21.2	115 mm	40	112.31	1830	200	42.3	36.3	36.2	36	2000.1
2	17 ago 18	R21.2	115 mm	40	112.31	1830	200	42.1	36	36.1	36	2000.1
3	17 ago 18	R21.2	115 mm	40	112.31	1834	200	37.7	33.6	33.2	34	2000.1
4	17 ago 18	R21.4	115 mm	40	112.31	1817	200	38.4	33.7	33.3	33	2000.1
5	17 ago 18	R21.4	115 mm	40	112.31	1831	200	34.7	31.3	31.3	31	2000.1
6	17 ago 18	R21.4	115 mm	40	112.31	1827	200	40.2	35.8	35.8	36	2000.1
7	17 ago 18	R21.7	115 mm	40	112.31	1847	200	40.2	35.2	35.1	35	2000.1
8	17 ago 18	R21.8	115 mm	40	112.31	1828	200	38.7	33.3	33.3	34	2000.1
9	17 ago 18	R21.8	115 mm	40	112.31	1827	200	39.2	33.6	33.6	34	2000.1
10	16 ago 18	R21.10	115 mm	40	112.31	1764	200	34.2	31.1	31.1	31	2000.1
11	17 ago 18	R21.1	115 mm	40	112.31	1834	200	37.2	33.8	33.8	34	2000.1
12	17 ago 18	R21.2	115 mm	40	112.31	1833	200	36.6	31.4	31.7	32	2000.1
13	17 ago 18	R21.4	115 mm	40	112.31	1798	200	37.3	33.8	33.8	34	2000.1
14	17 ago 18	R21.4	115 mm	40	112.31	1838	200	36.4	31.7	31.9	32	2000.1
15	17 ago 18	R21.4	115 mm	40	112.31	1827	200	36.6	31.8	31.8	31	2000.1



Observación: \*\*\*

*[Signature]*  
 ING. MERCEDES VILLACCH  
 JEFE DEL LABORATORIO



Tel: 2976300  
 Ext: 1509



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS**



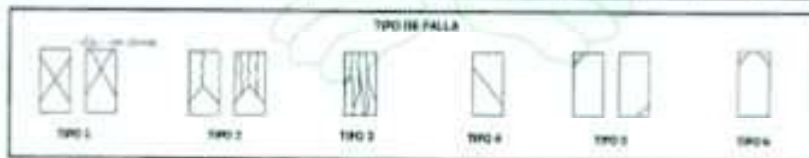
**COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN**

Cable: 17 de noviembre de 2019

IMP. No. 18-0273-0  
 Página No. 01

**INGENIERO:** SANDY MIRELLA LINDUERA CORREA  
**Asesor:** Sandy Mirella Linduera Correa  
**Observador:** Ladrón de Guevara E11-253 Y Andaluza  
**PROYECTO:** PROYECTO DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN COMO DE APLICACIÓN LEEMER-EPN  
**CONTROLADO:** ---  
**REVISADO:** ---  
**APROBADO:** ---  
**FECHA:** 15 DE DICIEMBRE DE 2019

No.	FECHA FALLEZADO	MOMENTO KPa	FECHA ROTURA	DIAM. Mm	ALARGAMIENTO Mm	ÁREA TRANSV. mm <sup>2</sup>	F. COMP. Kpa	CARGA		DEFORMACIÓN		TIPO DE FALLA
								KPa	mm	mm/m	mm/m	
1	11 ago 19	82.14	11 nov 19	42	14.00	1764	209	140.0	10.9	10.9	92	FRAC 1
2	11 ago 19	82.17	11 nov 19	42	14.70	1800	204	140.0	11.4	11.4	84	FRAC 1
3	11 ago 19	82.24	11 nov 19	42	13.70	1764	206	140.0	10.1	10.1	100	FRAC 1
4	11 ago 19	82.10	11 nov 19	42	14.00	1764	200	140.0	10.1	10.1	104	FRAC 1
5	11 ago 19	82.210	11 nov 19	42	14.70	1800	205	140.0	10.9	10.9	89	FRAC 1
6	11 ago 19	82.14	11 nov 19	42	14.00	1764	204	140.0	10.9	10.9	88	FRAC 1
7	11 ago 19	82.12	11 nov 19	42	14.00	1764	205	140.0	10.0	10.0	86	FRAC 1
8	11 ago 19	82.10	11 nov 19	42	14.00	1764	200	140.0	10.1	10.1	84	FRAC 1
9	11 ago 19	82.14	11 nov 19	42	13.70	1764	200	140.0	10.4	10.4	107	FRAC 1
10	11 ago 19	82.14	11 nov 19	42	14.00	1764	200	140.0	10.1	10.1	84	FRAC 1
11	11 ago 19	82.14	11 nov 19	42	14.00	1764	200	140.0	10.1	10.1	84	FRAC 1
12	11 ago 19	82.14	11 nov 19	42	14.00	1764	200	140.0	10.1	10.1	84	FRAC 1
13	11 ago 19	82.14	11 nov 19	42	14.00	1764	200	140.0	10.1	10.1	84	FRAC 1
14	11 ago 19	82.14	11 nov 19	42	14.00	1764	200	140.0	10.1	10.1	84	FRAC 1
15	11 ago 19	82.14	11 nov 19	42	14.00	1764	200	140.0	10.1	10.1	84	FRAC 1



Observación: ---

*[Handwritten Signature]*  
 DR. MARCELO YLLACR  
 JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300  
 Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



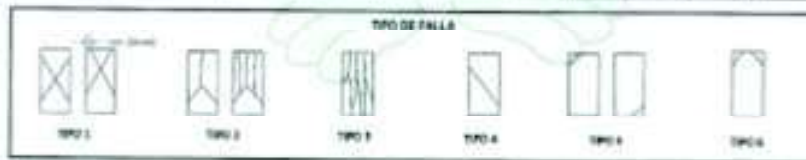
**COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN**

DFE No. 16 - 2014  
 Sup. 07 de 16

Fecha: 17 de noviembre de 2019

**MAESTRO:** SANDY MIRELLA BRINDUNA CORREA  
**Asesor(a):** Sandy Mirella Brinduna Correa  
**Asesor(a):** Ladrón de Guevara E11-253 Y Andalucía  
**PROYECTO:** PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE DISTRIBUCIÓN CASO DE APLICACIÓN LEONEL ESP. \*\*\*  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FINANCIADOR:** \*\*\*  
**ALUMNO(A):** \*\*\*  
**NORMA:** NTC 1626 (175.2014) - ASTM C39/C39M - 14

No.	SERIE LABORATORIO	MARCA/ETIQUETA	FUEZA NOMINAL	DIAM. (mm)	ALCANTARADO (mm)	DESA. TRANSV. (mm <sup>2</sup> )	F. DISEÑO (kg/cm <sup>2</sup> )	FUEZA		DEFORMACIÓN		TIPO DE FALLA
								MPa	KN	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	
1	11-ago-18	831.1	13.000-18	40	111.31	1780	224	88.7	42.4	34.1	34	1000.1
2	11-ago-18	831.2	13.000-18	40	102.91	1630	224	81.4	42.7	32.4	34	1000.1
3	11-ago-18	831.3	13.000-18	40	108.23	1740	224	86.6	43.8	34.1	34	1000.1
4	11-ago-18	831.4	13.000-18	40	126.81	1780	224	102.3	43.8	34.1	34	1000.1
5	11-ago-18	831.5	13.000-18	40	119.31	1660	224	97.3	43.4	34.1	34	1000.1
6	11-ago-18	831.6	13.000-18	40	111.36	1740	224	92.3	44.1	33.3	34	1000.1
7	11-ago-18	831.7	13.000-18	40	112.21	1620	224	89.1	44.7	33.2	34	1000.1
8	11-ago-18	831.8	13.000-18	40	103.84	1740	224	84.7	43.3	33.3	34	1000.1
9	11-ago-18	831.9	13.000-18	40	117.21	1740	224	97.3	44.4	34.4	34	1000.1
10	11-ago-18	831.10	13.000-18	40	114.31	1600	224	94.4	44.1	33.1	34	1000.1
11	11-ago-18	831.11	13.000-18	40	108.20	1740	224	93.4	44.1	33.2	34	1000.1
12	11-ago-18	831.12	13.000-18	40	104.36	1670	224	91.7	43.4	33.4	34	1000.1
13	11-ago-18	831.13	13.000-18	40	103.31	1660	224	89.8	42.7	32.4	34	1000.1
14	11-ago-18	831.14	13.000-18	40	112.20	1740	224	97.3	43.3	34.4	34	1000.1
15	11-ago-18	831.15	13.000-18	40	114.81	1670	224	93.7	44.4	34.4	34	1000.1



Observación: \*\*\*

*[Handwritten Signature]*  
 DRD. STEFFEN VILLACIS  
 JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 29763000  
 Ext.: 1609





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS**



**COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN**

202, No. 18 - 02764  
 Bogotá, D.C.

Fecha: 17 de noviembre de 2017

**HEMERA:** SANDY ARELLANO LINDOYUÑA ORRELA  
**Asesor:** Sandy Arellano Lindoyuña Orreola  
**Muestreo:** Laboratorio de Guevara E11-253 y Antelucia  
**PROYECTO:** PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALUACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE DORMISIÓN CASI DE APLICACIÓN LEVANTAR 12%  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FINANCIADOR:** \*\*\*  
**PROYECTISTA:** \*\*\*  
**NORMA:** NTC 5020 (173:2010) - ASTM C39/C39M - 14c

No.	Fecha Fallecimiento	DIA/MESES/AÑOS	PRUEBA RESISTENCIA	ESPAZ Módulo	Módulo (MPa)	ÁREA Sección (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kgf)	CARGA		DEFORMACIÓN		TIPO DE FALLA
								MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	
1	17 ago 18	18-08	21-00-18	41	14.20	1767	249	17.5	12.1	18.1	102	TIPO 1
2	17 ago 18	18-08	17-00-18	42	13.40	1608	230	16.8	11.9	17.9	100	TIPO 1
3	17 ago 18	18-08	12-00-18	41	14.40	1607	226	15.7	11.1	17.1	100	TIPO 1
4	17 ago 18	18-08	13-00-18	42	13.60	1607	226	16.0	11.1	17.1	100	TIPO 1
5	17 ago 18	18-08	13-00-18	41	14.40	1608	226	16.2	11.4	17.3	100	TIPO 1
6	17 ago 18	18-08	13-00-18	41	14.40	1607	226	16.2	11.4	17.3	100	TIPO 1
7	17 ago 18	18-08	13-00-18	41	14.20	1767	249	17.5	12.1	18.1	100	TIPO 1
8	17 ago 18	18-08	13-00-18	42	13.20	1608	226	16.2	11.4	17.3	100	TIPO 1
9	17 ago 18	18-08	12-00-18	41	14.40	1766	249	17.5	12.1	18.1	100	TIPO 1
10	17 ago 18	18-08	12-00-18	41	14.40	1766	249	17.5	12.1	18.1	100	TIPO 1
11	17 ago 18	18-08	12-00-18	41	14.40	1766	249	17.5	12.1	18.1	100	TIPO 1
12	17 ago 18	18-08	12-00-18	41	14.40	1766	249	17.5	12.1	18.1	100	TIPO 1
13	17 ago 18	18-08	12-00-18	41	14.40	1766	249	17.5	12.1	18.1	100	TIPO 1
14	17 ago 18	18-08	12-00-18	41	14.40	1766	249	17.5	12.1	18.1	100	TIPO 1
15	17 ago 18	18-08	12-00-18	41	14.40	1766	249	17.5	12.1	18.1	100	TIPO 1
16	17 ago 18	18-08	12-00-18	41	14.40	1766	249	17.5	12.1	18.1	100	TIPO 1
17	17 ago 18	18-08	12-00-18	41	14.40	1766	249	17.5	12.1	18.1	100	TIPO 1



Observación: \*\*\*

*[Signature]*  
 D.C. MARCELA VILLAS  
 JEFE DEL LABORATORIO

Tel.: 2576300  
 Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN**

DM No. 04-2014  
 2da Edición

QMS 17-B noviembre de 2010

**OBJETO:** RODY ABELLA LAMPUNA COBREA  
**Asesor:** Rody Mado Lozada Cerna  
**Monitoreo:** Ladris De Guzman E11-253 y Andaluza  
**PROYECTO:** PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN CASO DE APLICACION LEONARDO APL  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FINANCIADOR:** \*\*\*  
**SUBPROYECTO:** \*\*\*  
**NOMBRE:** VOT 0001 0770.300 - ATM COPACONA - 146

No.	FECHA E INICIO (a-a-a)	NOMBRE MUESTRA	FECHA MUESTRA	DIAM. MUESTRA	ALTIMETRO mm	ÁREA TRANSV. mm <sup>2</sup>	E. DENS. kg/m <sup>3</sup>	CARGA		DEFORMACIÓN		TIPO DE FALLA
								kgf	mm	mm/m	mm/m	
1	11-ago-18	04-1	11-ago-18	42	110.01	1436	234	72.4	7.2	4.4	4.1	0000.1
2	11-ago-18	04-2	11-ago-18	42	110.02	1436	234	75.2	7.2	4.1	4.1	0000.1
3	11-ago-18	04-3	11-ago-18	42	110.75	1436	232	78.2	7.4	4.2	4.1	0000.1
4	11-ago-18	04-4	11-ago-18	42	110.27	1436	234	85.1	7.2	3.2	3.0	0000.1
5	11-ago-18	04-5	11-ago-18	42	110.26	1436	232	14.1	7.2	3.3	4.1	0000.1
6	11-ago-18	04-6	11-ago-18	42	110.20	1437	234	76.2	7.4	3.3	4.1	0000.1
7	11-ago-18	04-7	11-ago-18	42	110.20	1437	234	74.1	7.4	3.3	4.1	0000.1
8	11-ago-18	04-8	11-ago-18	42	110.24	1437	232	81.1	7.1	3.1	3.0	0000.1
9	11-ago-18	04-9	11-ago-18	42	111.71	1437	232	74.2	7.4	3.3	3.0	0000.1
10	11-ago-18	04-10	11-ago-18	42	110.75	1436	232	74.1	7.4	3.4	3.0	0000.1
11	11-ago-18	04-11	11-ago-18	42	110.81	1438	232	74.1	7.4	3.7	4.1	0000.1
12	11-ago-18	04-12	11-ago-18	42	110.36	1436	232	72.4	7.2	3.3	3.0	0000.1
13	11-ago-18	04-13	11-ago-18	42	110.27	1436	232	74.1	7.2	3.3	3.0	0000.1
14	11-ago-18	04-14	11-ago-18	42	110.28	1437	234	74.4	7.1	3.1	3.0	0000.1
15	11-ago-18	04-15	11-ago-18	42	110.20	1437	234	73.4	7.4	3.1	3.1	0000.1



Observación: \*\*\*

*[Signature]*  
 ING. MARCELO VILLACÉS  
 JEFE DEL LABORATORIO



Tel: 2976300  
 Ext: 1409

**ANEXO VII**  
**CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN.**

Propietario: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
 Número de Certificado: LNM-F-2017145001810  
 Fecha de Calibración: 2017-08-13



**INCERTIDUMBRE DE MEDIDA:** La incertidumbre de medida obtenida equivale al doble de la incertidumbre combinada, es decir cubre un intervalo de confianza de aproximadamente el 95 % asumiendo una distribución normal, y se la estimó de acuerdo a la Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM) publicada por la ISO.

**PROCEDIMIENTO UTILIZADO:** Procedimiento LNM-PC 26 "Procedimiento de calibración de máquinas de ensayos universales", basado en la Norma Internacional ISO 7500-1

**INTERVALO DE CALIBRACIÓN:**  
 Rango: 120000 kgf División de Escala: 1 kgf

**CONDICIONES AMBIENTALES:**

T <sub>a</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
18.6	18.6

**PATRONES Y EQUIPOS UTILIZADOS:**

Centro de Carga  
 Marca: HBM Serie: 00284RUT Certificado: 25324 DND-K-00101  
 Amplificador MOCplus; ML380  
 Marca: HBM Serie: 801128372 Certificado: 24944 DND-K-00101

**TABLA DE CALIBRACIÓN EN UNIDADES DEL INSTRUMENTO - COMPRESIÓN**

Fuerza Indicada kgf	Fuerza Verdadera Aplicada					Error kgf	U kgf	U %
	1ª serie kgf	2ª serie kgf	3ª serie kgf	4ª serie kgf	Promedio kgf			
10000	10273	10281	10253	-----	10271	-271	23	0.22
20000	20221	20325	20298	-----	20275	-275	40	0.20
30000	29929	29925	29911	-----	29925	-225	**	0.19
40000	40274	40251	40221	-----	40249	-249	45	0.12
50000	50261	50240	50225	-----	50259	-259	54	0.11
60000	60285	60268	60244	-----	60259	-259	65	0.11
70000	70415	70393	70372	-----	70397	-297	**	0.12
80000	80373	80473	80370	-----	80405	-405	100	0.12
90000	90467	90454	90434	-----	90452	-452	85	0.09
100000	100480	100439	100431	-----	100450	-450	97	0.10

**TABLA DE CALIBRACIÓN EN UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL**

Fuerza Indicada N	Fuerza Verdadera Aplicada					Error N	U N	U %
	1ª serie N	2ª serie N	3ª serie N	4ª serie N	Promedio N			
98.07	100.74	100.88	100.55	-----	100.72	-2.66	0.22	0.22
196.13	196.40	196.32	196.53	-----	196.78	-2.65	0.29	0.20
294.20	296.74	296.22	296.25	-----	296.41	-2.21	0.44	0.15
392.27	394.96	394.72	394.43	-----	394.71	-2.44	0.48	0.12
490.33	492.88	492.68	492.22	-----	492.26	-2.93	0.82	0.17
588.40	591.38	591.42	591.77	-----	591.72	-3.32	0.84	0.11
686.47	690.53	690.03	690.63	-----	690.07	-3.60	0.82	0.12
784.53	788.19	788.17	788.18	-----	788.51	-3.98	0.58	0.12
882.60	887.19	887.05	886.85	-----	887.03	-4.43	0.84	0.08
980.67	985.37	984.87	984.30	-----	985.59	-4.41	0.95	0.10


**TABLA DE PARÁMETROS RELATIVOS SEGÚN LA NORMA ISO 7500-1**

Fuerza Indicada kgf	Exactitud g (%)	Repetibl. g (%)	Reversibil. v (%)	Cero g (%)	Resolución relativa a (%)	Clase de exactitud
10000	2.64	0.33	-----	0.00	0.10	3
20000	1.32	0.47	-----	0.00	0.06	2
30000	0.75	0.18	-----	0.00	0.03	1
40000	0.82	0.13	-----	0.00	0.02	1
50000	0.59	0.24	-----	0.00	0.02	1
60000	0.58	0.09	-----	0.00	0.02	1
70000	0.52	0.13	-----	0.00	0.01	1
80000	0.50	0.13	-----	0.00	0.01	0.5
90000	0.50	0.04	-----	0.00	0.01	0.5
100000	0.48	0.08	-----	0.00	0.01	0.5
Parámetros Máximos	2.64	0.47	-----	0.000	0.10	3

Calibrado por:   
 WILSON ARZUOLA CRUZ  
 TÉCNICO DEL LABORATORIO DE FUERZA

Revisado por:   
 EDISON CONDOR  
 COORDINADOR DE METROLOGÍA I Y C



	<b>CERTIFICADO DE CALIBRACION</b>		
	Certificado N°	LEM-LAB-PR-043-18	
	Pedro Freile NS4-111 y Juan Garzón, Cotoacollo Quito-Ecuador TEL: 02-6007779		

## IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

**Cliente:** LEMSUR - Laboratorios de Ensayos de Materiales, Suelos y Rocas  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253  
**Persona de contacto:** Ing. Juliana Romero  
**Fecha de calibración:** 2018-05-10      **Próxima calibración:** No definida

## IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO

**Instrumento:** Pie de Rey  
**Código:** N/D  
**Tipo:** Digital  
**Marca:** Kex Germany  
**Modelo:** N/D  
**Serie:** N/D  
**Unidad de medida:** mm  
**Rango:** (0 a 300) mm  
**Resolución:** 0,05 mm

## CONDICIONES AMBIENTALES

**Temperatura:** 19,0 °C  
**Humedad:** 64 %  
**Lugar de calibración:** Laboratorio  
TEGMETRO

## MÉTODO UTILIZADO

Procedimiento de Calibración de  
 Pies de Rey TM-CP-01

## EQUIPOS UTILIZADOS

NOMBRE	BPL - grado 0	Accesorios BPL	Termómetro de contacto
CÓDIGO	TM-M-010	TM-M-012	TM-T-008
MARCA	Starrett	Starrett	Etech Instruments
MODELO	88A5001	501 BAC1100A	50092
FECHA CAL.	2017-11-20	2015-10-22	2016-07-07
PRÓX. CAL.	2018-11-20	N.A.	2018-07-07
Nº. CERTIFICADO	LM4-L-2017M00000	15-27319-D	TE-1604847ER

TEGMETRO S.A. mantiene trazabilidad al SI a través de patrones primarios nacionales o internacionales, los certificados de calibración se encuentran en los archivos de TEGMETRO S.A. y pueden ser revisados por cualquier persona que así lo solicite.

\* De requerir el cliente se le entregará una carta de trazabilidad.

## EVALUACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

ELEMENTO INSPECCIONADO	RESULTADO	Observación: - Esta evaluación de límite al funcionamiento del instrumento, más no al estado de cumplimiento de las medidas entregadas por el mismo confirma a su clase de exactitud.
Estado de Bocas	Bueno	
Deslizamiento del Cursor	Bueno	
Dispositivo de fijación	Bueno	
Paralelismo de las caras de medición	Bueno	

## RESULTADOS OBTENIDOS

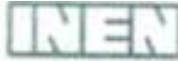
EXTERIORES				
Valor Patrón (mm)	Valor Medido (mm)*	Error (µm)	e.m.p. (µm)	Incert. (µm)
0,0000	0,00	0,0	50	40,0
30,0001	30,00	-0,1	50	40,0
70,0001	70,00	-0,1	50	40,0
150,0001	150,00	-0,1	70	40,1
190,0002	190,00	-0,2	70	40,1
220,0004	220,00	-0,4	70	40,1
300,0003	300,00	-0,3	80	40,2

INTERIORES				
Valor Patrón (mm)	Valor Medido (mm)*	Error (µm)	e.m.p. (µm)	Incert. (µm)
30,0001	30,0	-0,1	50	40,0
150,0001	150,0	-0,1	70	40,1

PROFUNDIDAD				
Valor Patrón (mm)	Valor Medido (mm)*	Error (µm)	e.m.p. (µm)	Incert. (µm)
0,0000	0,00	0,0	50	40,0
70,0001	70,00	-0,1	80	40,0

\*No acreditado

\* Es el resultado proveniente del promedio de 3 mediciones.



**SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN  
LABORATORIO NACIONAL DE METROLOGÍA (L.N.M.)  
DIVISIÓN MECÁNICA  
LABORATORIO DE PESAS Y MEDIDAS**

Laboratorio Nacional de Metrología  
(L.N.M.)  
Avda. General Rumiñahui Frente 1  
Vía de la China-Cañabita  
Tel. (05) 230-212 244 244  
Fax (05) 230-212 244 244

INFORME TÉCNICO DE CALIBRACION DE BALANZAS No. IT-LNM-PyM-2015-0380 FECHA DE CALIBRACION: 2015-02-05

**IDENTIFICACION DEL CLIENTE**

EMPRESA: Laboratorio de Mecánica de Superficie - S.P.A. TELÉFONO: 237 6300 CASILLA: 000  
DIRECCION: Lección de Guayusa E 11-203 y Andalucía Edif. Pajonero, C/da Olinda al. M.15 FAX: 000  
FORMULADA POR: Ing. Mercedes Vilaca OFICIO No.: HCO No. 000026 FECHA: 2015-01-05

**IDENTIFICACION DE LA BALANZA**

Marca: SARTORIUS	Capacidad: 10000 g
Modelo: 3004 MP	División de Escala (d): 0.1 g
Serie: 2911228	Nº de Esc. de Verificación (e): 0.1 g
Clase: 1	Localización: Laboratorio de Superficie
Observaciones:	Dispositivo de lectura: Digital

**PATRONES/ DOCUMENTOS DE REFERENCIA UTILIZADOS**

El Servicio Ecuatoriano de Normalización, realizó la calibración de la balanza arriba descrita en las instalaciones de la empresa utilizando pesas patrón de trabajo, trazables a la unidad de masa del Sistema Internacional de Unidades SI, a través del Patrón Nacional de masa, Certificado CENAMA NL 02M-00-730-1192013

PATRONES: Pesas de clase F1 Certificado No.: LPO.M.2015.150/16018/150 LAMA 2014 (LAMA-M 2014-4-0)

DOCUMENTOS DE REFERENCIA: Los ensayos de excentricidad, repetibilidad y carga son evaluados con los errores máximos permitidos, e.m.p., en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE - INEN - ONA, RTG-1-2013

**1. ENSAYO DE EXCENTRICIDAD (Exc.)**

	Posición 1	Posición 2	Posición 3	Posición 4	Exc. Max	e.m.p.
	g	g	g	g	g	g
Lectura	5007.4	5007.0	5007.2	5006.5	0.9	± 0.2

**2. ENSAYO DE CARGA**

	CARGA	LECTURA ASC.	LECTURA DES.	ERROR ASC.	ERROR DES.	HISTERESIS	e.m.p.
	g	g	g	g	g	g	g
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	± 0.1
2	10.0	10.0	10.0	0.0	0.0	0.0	
3	20.0	20.0	20.0	0.0	0.0	0.0	
4	30.0	30.0	30.0	0.0	0.0	0.0	
5	40.0	40.0	40.0	0.0	0.0	0.0	
6	60.0	60.0	60.0	0.0	0.0	0.0	
7	100.0	100.0	100.1	0.0	0.1	0.1	
8	200.0	200.3	200.3	0.3	0.3	0.0	
9	300.0	300.4	300.3	0.4	0.3	-0.1	
10	500.0	500.7	500.7	0.7	0.7	0.0	
11	1000.0	1001.0	1001.4	1.0	1.4	-0.1	
12	2000.0	2002.8	2002.8	2.8	2.8	0.0	
13	3000.0	3004.3	3004.0	4.3	4.0	-0.3	
14	5000.0	5007.0	5006.8	7.0	6.8	-0.2	
15	10000.0	10014.2	10014.2	14.2	14.2	0.0	± 0.2
16	14500.0	14520.8	14520.8	20.8	20.8	0.0	±

**3. ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Capacidad	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Lectura 5	Lectura 6
g	g	g	g	g	g	g
ME10A	7510.4	7510.8	7510.3	7510.5	7510.5	7510.0

Capacidad	Dif. Max.	e.m.p.
g	g	g
ME10A	0.7	± 0.2

Incertidumbre de calibración: 0.53 g X = 2

**EVALUACION**

Ensayos	Excent.	Carga	Repet.
Cumplimiento con e.m.p.	No Cumple	No Cumple	Cumple

CONCLUSION: LA BALANZA SE RECHAZA EN EL RANGO ENSAYADO

OBSERVACIONES:

Calibrado por: Tipo Francisco Cavallos Responsable del Lab. PyM

Revisado por: Dr. Alberto Tejón Responsable del Lab. PyM



Propietario: **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 Número de certificado: LNM-L-20174100032D  
 Fecha de Calibración: 2017-06-27

**CONDICIONES AMBIENTALES DEL ENSAYO**

**TEMPERATURA:** (20 ± 3) °C  
**PRESIÓN ATM:** (733 ± 747) hPa  
**HUMEDAD REL:** (50 ± 20) %

**METODO UTILIZADO:** LNM PC 11, Procedimiento para calibración de cintas.

**PATRONES UTILIZADOS:** Flexómetro de 7 metros certificación LNM-L-20164300026D.

**INCERTIDUMBRE DE MEDIDA:** La incertidumbre expandida de medida informada se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de medida por el factor de cobertura  $K=2$  que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%; y, se la estimó de acuerdo al documento "Guide to the Expression of the Uncertainty in Measurement" de la ISO.

**ESTADO DE RECEPCIÓN DEL INSTRUMENTO**

PRUEBAS	RESULTADO
Inspección visual: El instrumento se encuentra en buenas condiciones sin huellas visibles de corrosión y abolladuras.	conforme
Notas:	

**RESULTADOS OBTENIDOS**

Intervalo ( m )	Longitud ( m )	Error ( mm )	e.m.p. ( Recomendación Internacional OIML R 36 )		
			Clase I ( ± mm )	Clase II ( ± mm )	Clase III ( ± mm )
0 a 0,10000	0,10028	-0,28	0,11	0,32	0,64
0 a 0,20000	0,20036	-0,36	0,12	0,34	0,68
0 a 0,30000	0,30047	-0,47	0,13	0,36	0,72
0 a 0,40000	0,40062	-0,62	0,14	0,38	0,76
0 a 0,50000	0,50078	-0,78	0,15	0,40	0,80
0 a 0,60000	0,60063	-0,63	0,16	0,42	0,84
0 a 0,70000	0,70073	-0,73	0,17	0,44	0,88
0 a 0,80000	0,80072	-0,72	0,18	0,46	0,92
0 a 0,90000	0,90086	-0,86	0,19	0,48	0,96
0 a 1,00000	1,00086	-0,86	0,20	0,50	1,00
0 a 2,00000	2,00108	-1,08	0,30	0,70	1,40
0 a 3,00000	3,00132	-1,32	0,40	0,90	1,80
0 a 4,00000	4,00155	-1,55	0,50	1,10	2,20
0 a 5,00000	5,00126	-1,26	0,60	1,30	2,60

Incertidumbre de calibración: 110 μm      k = 2

NT

## **ANEXO N° VIII**

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA INTRALABORATORIO (210  
kg/cm<sup>2</sup>, 280 kg/cm<sup>2</sup>, 350 kg/cm<sup>2</sup> y 425 kg/cm<sup>2</sup>).**



R1=210 kg/cm<sup>2</sup> (20,5 MPa)

ANOVA	RESISTENCIA = 210 kg/cm <sup>2</sup> (20,5 MPa)			
n = OBSERVACIONES	n' = OPERADORES			
	1	2	3	
1	18,7	18,6	20,0	
2	19,3	18,2	18,0	
3	20,1	18,6	19,7	
4	18,2	19,2	19,7	
5	19,6	19,4	18,8	
6	18,4	18,7	20,2	
7	19,0	19,5	18,8	
8	19,0	18,7	18,1	
9	20,3	20,1	19,5	
10	19,3	19,3	18,4	
Promedio:	19,19	19,04	19,13	
Promedio Total:	19,12			
N =	30	Número total de observaciones		
gl <sub>T</sub> =	29	Grados de libertad totales		
gl <sub>B</sub> =	2	Grados de libertad entre grupos		
gl <sub>W</sub> =	27	Grados de libertad dentro del grupo		
Cálculo	Analista 1	Analista 2	Analista 3	Cálculo
Σ xi	191,92	190,42	191,30	573,64
Σ xi <sup>2</sup>	3687,71	3629,06	3665,20	10981,96
Origen de la Varianza	Grados de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SDC)	Diferencia de cuadrados medios (DCM)	
Entre grupos (B)	2	0,114	0,057	
Dentro del grupo (W)	27	12,971	0,480	
Total (T)	29	13,084	0,451	
S <sub>L</sub> <sup>2</sup> =	0,0000			
Repetibilidad (S <sub>r</sub> ) =	0,693			
Reproducibilidad (S <sub>R</sub> ) =	0,693			
CVr (%) =	3,625			
CVR (%) =	3,625			
F calc. =	0,118			
Probabilidad =	0,025			
F crit. =	4,242			
F calc < F crit. No existen diferencias significativas entre los tres operadores.				

PRUEBA T	n' = OPERADORES					
	1	2	1	3	2	3
Promedio:	19,19	19,04	19,07	19,36	18,65	19,36
Desviación Estandar (S):	0,691	0,581	0,848	0,899	0,420	0,899
Varianza (S <sup>2</sup> ):	0,478	0,337	0,718	0,807	0,176	0,807
gdl	9	9	9	9	9	9
gdl abs:	16		16		16	
Probabilidad:	0,025		0,025		0,025	
Varianza Media (S <sub>med.</sub> <sup>2</sup> ):	0,407		0,763		0,492	
t calc:	0,499		0,723		2,146	
t crit:	2,47		2,47		2,47	
COMPARACIÓN	t cal. < t crit. No existen diferencias significativas		t cal. < t crit. No existen diferencias significativas		t cal. < t crit. No existen diferencias significativas	

R2=280kg/cm2 (27,5 MPa)

ANOVA	RESISTENCIA = 280 kg/cm <sup>2</sup> (27,5 MPa)			
n = OBSERVACIONES	n' = OPERADORES			
	1	2	3	
1	30,3	28,9	29,6	
2	28,9	28,7	30,0	
3	29,2	30,0	30,2	
4	29,9	30,1	29,2	
5	29,3	30,4	30,4	
6	30,3	30,6	30,4	
7	29,5	29,5	30,5	
8	30,0	29,3	28,8	
9	31,0	30,7	30,1	
10	29,5	29,9	29,3	
<b>Promedio:</b>	29,80	29,81	29,85	
<b>Promedio Total:</b>	29,82			
<b>N =</b>	30	Número total de observaciones		
<b>gl<sub>T</sub> =</b>	29	Grados de libertad totales		
<b>gl<sub>B</sub> =</b>	2	Grados de libertad entre grupos		
<b>gl<sub>W</sub> =</b>	27	Grados de libertad dentro del grupo		
<b>Cálculo</b>	<b>Analista 1</b>	<b>Analista 2</b>	<b>Analista 3</b>	<b>Cálculo</b>
<b>Σ xi</b>	297,95	298,12	298,52	<b>894,59</b>
<b>Σ xi<sup>2</sup></b>	8881,35	8891,70	8914,27	<b>26687,32</b>
<b>Origen de la Varianza</b>	<b>Grados de libertad (gl)</b>	<b>Suma de cuadrados (SDC)</b>	<b>Diferencia de cuadrados medios (DCM)</b>	
<b>Entre grupos (B)</b>	2	0,017	0,008	
<b>Dentro del grupo (W)</b>	27	10,818	0,401	
<b>Total (T)</b>	29	10,835	0,374	
<b>S<sub>L</sub><sup>2</sup> =</b>	0,0000			
<b>Repetibilidad (S<sub>r</sub>) =</b>	0,633			
<b>Reproducibilidad (S<sub>R</sub>) =</b>	0,633			
<b>CVr (%) =</b>	2,123			
<b>CVR (%) =</b>	2,123			
<b>F calc. =</b>	0,021			
<b>Probabilidad =</b>	0,025			
<b>F crit. =</b>	4,242			
<b>F calc &lt; F crit. No existen diferencias significativas entre los tres operadores.</b>				

PRUEBA T	n' = OPERADORES					
	1	2	1	3	2	3
<b>Promedio:</b>	29,80	29,81	29,55	29,75	29,44	29,75
<b>Desviación Estandar (S):</b>	0,638	0,674	0,620	0,463	0,709	0,463
<b>Varianza (S<sup>2</sup>):</b>	0,407	0,454	0,385	0,214	0,503	0,214
<b>gdl</b>	9	9	9	9	9	9
<b>gdl abs:</b>	16		16		16	
<b>Probabilidad:</b>	0,025		0,025		0,025	
<b>Varianza Media (S<sub>med.</sub><sup>2</sup>):</b>	0,430		0,299		0,359	
<b>t calc:</b>	0,054		0,788		1,087	
<b>t crit:</b>	2,47		2,47		2,47	
<b>COMPARACIÓN</b>	<b>t cal. &lt; t crit. No existen diferencias significativas</b>		<b>t cal. &lt; t crit. No existen diferencias significativas</b>		<b>t cal. &lt; t crit. No existen diferencias significativas</b>	

R3=350 kg/cm<sup>2</sup> (34,4 MPa)

ANOVA	RESISTENCIA = 350 kg/cm <sup>2</sup> (34,3 MPa)			
n = OBSERVACIONES	n' = OPERADORES			
	1	2	3	
1	34,3	35,1	34,3	
2	33,9	33,9	33,8	
3	33,8	33,4	33,0	
4	34,6	34,4	34,3	
5	34,1	34,6	34,2	
6	35,3	35,5	34,2	
7	33,2	32,9	33,9	
8	33,9	34,2	34,7	
9	34,9	34,4	36,1	
10	34,1	32,3	34,6	
Promedio:	34,21	34,07	34,31	
Promedio Total:	34,20			
N =	30	Número total de observaciones		
gl <sub>T</sub> =	29	Grados de libertad totales		
gl <sub>B</sub> =	2	Grados de libertad entre grupos		
gl <sub>W</sub> =	27	Grados de libertad dentro del grupo		
Cálculo	Analista 1	Analista 2	Analista 3	Cálculo
Σ xi	342,07	340,75	343,10	1025,91
Σ xi <sup>2</sup>	11704,24	11619,41	11777,14	35100,79
Origen de la Varianza	Grados de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SDC)	Diferencia de cuadrados medios (DCM)	
Entre grupos (B)	2	0,278	0,139	
Dentro del grupo (W)	27	17,396	0,644	
Total (T)	29	17,674	0,609	
S <sub>L</sub> <sup>2</sup> =	0,0000			
Repetibilidad (S <sub>r</sub> ) =	0,803			
Reproducibilidad (S <sub>R</sub> ) =	0,803			
CVr (%) =	2,347			
CVR (%) =	2,347			
F calc. =	0,216			
Probabilidad =	0,025			
F crit. =	4,242			
F calc < F crit. No existen diferencias significativas entre los tres operadores.				

PRUEBA T	n' = OPERADORES					
	1	2	1	3	2	3
Promedio:	34,21	34,07	34,14	33,85	34,20	33,85
Desviación Estandar (S):	0,603	0,977	0,368	0,615	0,742	0,615
Varianza (S <sup>2</sup> ):	0,364	0,955	0,136	0,378	0,551	0,378
gdl	9	9	9	9	9	9
gdl abs:	16		16		16	
Probabilidad:	0,025		0,025		0,025	
Varianza Media (S <sub>med.</sub> <sup>2</sup> ):	0,659		0,257		0,464	
t calc:	0,345		1,186		1,068	
t crit:	2,47		2,47		2,47	
COMPARACIÓN	t cal. < t crit. No existen diferencias significativas		t cal. < t crit. No existen diferencias significativas		t cal. < t crit. No existen diferencias significativas	

R4=425 kg/cm<sup>2</sup> (41,7 MPa)

ANOVA	RESISTENCIA = 425 kg/cm <sup>2</sup> (41,7 MPa)			
n = OBSERVACIONES	n' = OPERADORES			
	1	2	3	
1	39,6	39,6	40,1	
2	40,2	39,8	40,4	
3	40,3	38,9	40,1	
4	38,2	39,3	39,0	
5	39,3	40,4	40,8	
6	39,3	40,8	40,1	
7	39,7	39,2	39,7	
8	38,3	41,1	40,6	
9	38,8	39,2	38,3	
10	39,0	39,0	39,1	
Promedio:	39,27	39,73	39,83	
Promedio Total:	39,61			
N =	30	Número total de observaciones		
gl <sub>T</sub> =	29	Grados de libertad totales		
gl <sub>B</sub> =	2	Grados de libertad entre grupos		
gl <sub>W</sub> =	27	Grados de libertad dentro del grupo		
Cálculo	Analista 1	Analista 2	Analista 3	Cálculo
Σ xi	392,72	397,33	398,27	1188,31
Σ xi <sup>2</sup>	15427,16	15792,11	15867,55	47086,82
Origen de la Varianza	Grados de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SDC)	Diferencia de cuadrados medios (DCM)	
Entre grupos (B)	2	1,767	0,883	
Dentro del grupo (W)	27	15,611	0,578	
Total (T)	29	17,378	0,599	
S <sub>L</sub> <sup>2</sup> =	0,0305			
Repetibilidad (S <sub>r</sub> ) =	0,760			
Reproducibilidad (S <sub>R</sub> ) =	0,780			
CVr (%) =	1,920			
CVR (%) =	1,970			
F calc. =	1,528			
Probabilidad =	0,025			
F crit. =	4,242			
F calc < F crit. No existen diferencias significativas entre los tres operadores.				

PRUEBA T	n' = OPERADORES					
	1	2	1	3	2	3
Promedio:	39,27	39,73	39,57	39,90	39,39	39,90
Desviación Estandar (S):	0,717	0,770	0,968	0,610	0,405	0,610
Varianza (S <sup>2</sup> ):	0,513	0,593	0,937	0,372	0,164	0,372
gdl	9	9	9	9	9	9
gdl abs:	16		16		16	
Probabilidad:	0,025		0,025		0,025	
Varianza Media (S <sub>med.</sub> <sup>2</sup> ):	0,553		0,655		0,268	
t calc:	1,315		0,855		2,068	
t crit:	2,473		2,47		2,47	
COMPARACIÓN	t cal. < t crit. No existen diferencias significativas		t cal. < t crit. No existen diferencias significativas		t cal. < t crit. No existen diferencias significativas	

**ANEXO IX**

**RESULTADOS DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE (210 kg/cm<sup>2</sup>, 280 kg/cm<sup>2</sup>,  
350 kg/cm<sup>2</sup> y 425 kg/cm<sup>2</sup>).**

**R1 = 210 kg/cm<sup>2</sup> (20,5 MPa)**

<b>REPETIBILIDAD (Sr)</b>	<b>RESISTENCIA (Mpa)</b>	0.693
	<b>DENSIDAD (kg/m<sup>3</sup>)</b>	23.501
<b>CARGA MÁXIMA(kN)</b>		376.769
<b>DIAMETRO MÍNIMO (mm)</b>		149.50
<b>ALTURA MÍNIMA(mm)</b>		299
<b>MASA MÁXIMA(g)</b>		13091

INCERTIDUMBRE PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN (f'c)									
METODOLOGÍA DE CÁLCULO SEGÚN ENFOQUE GUM									
SÍMBOLO	COMPONENTE DE LA INCERTIDUMBRE	ESTIMACIÓN	UNIDAD	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD		COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD	INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR	210 (kg/cm <sup>2</sup> )	INCER. ESTÁNDAR * COEF. SENSIBILIDAD
				TIPO	DISTRIBUCIÓN				
U <sub>F1</sub>	Incertidumbre de la máquina.	480	N	B	Rectangular	1	240	240	240
U <sub>F2</sub>	Resolución de la máquina.	9,81	N	B	Rectangular	1	2,8319	2,8319	2,8319
U <sub>F3</sub>	Deriva de la máquina	5.5	N	B	Rectangular	1	3,1754	3,1754	3,1754
U <sub>φ1</sub>	Incertidumbre del calibrador	0,04	mm	B	Rectangular	1	0,0200	0,0200	0,0200
U <sub>φ2</sub>	Resolución del calibrador.	0,05	mm	B	Rectangular	1	0,0144	0,0144	0,0144
U <sub>φ3</sub>	Deriva del calibrador	0,003	mm	B	Rectangular	1	0,0017	0,0017	0,0017
U <sub>F</sub>	FUERZA		N	B	Rectangular	0,00006	240	0,0137	0,0137
U <sub>φ</sub>	DIAMETRO		mm	B	Rectangular	-0,28714	0,0247	-0,0071	-0,0071
S <sub>R</sub>	REPETIBILIDAD		MPa	A	Normal	1	0,6931	0,6931	0,6931
INCERTIDUMBRE COMBINADA									
FACTOR DE COBERTURA (K)									
INCERTIDUMBRE EXPANDIDA									
							1,4		Mpa
2									
INCERTIDUMBRE PARA LA DENSIDAD DEL HORMIGÓN (ρ')									
METODOLOGÍA DE CÁLCULO SEGÚN ENFOQUE GUM									
SÍMBOLO	COMPONENTE DE LA INCERTIDUMBRE	ESTIMACIÓN	UNIDAD	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD		COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD	INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR	210 (kg/cm <sup>2</sup> )	INCER. ESTÁNDAR * COEF. SENSIBILIDAD
				TIPO	DISTRIBUCIÓN				
U <sub>M1</sub>	Incertidumbre de la balanza.	0,53	g	B	Rectangular	1	0,2650	0,2650	0,2650
U <sub>M2</sub>	Resolución de la balanza.	0,1	g	B	Rectangular	1	0,0289	0,0289	0,0289
U <sub>M3</sub>	Deriva de la balanza.	0,05	g	B	Rectangular	1	0,0289	0,0289	0,0289
U <sub>h1</sub>	Incertidumbre del flexómetro.	0,11	mm	B	Rectangular	1	0,0550	0,0550	0,0550
U <sub>h2</sub>	Resolución del flexómetro.	1	mm	B	Rectangular	1	0,2887	0,2887	0,2887
U <sub>h3</sub>	Deriva del flexómetro.	0,02	mm	B	Rectangular	1	0,0115	0,0115	0,0115
U <sub>M</sub>	MASA		g	B	Rectangular	190,53	0,2681	0,0511	0,0511
U <sub>dφ</sub>	DIAMETRO		mm	B	Rectangular	-33366,82	0,0247	-0,8250	-0,8250
U <sub>h</sub>	ALTURA		mm	B	Rectangular	-8341,71	0,2941	-2,4533	-2,4533
S <sub>R</sub>	REPETIBILIDAD		kg/m <sup>3</sup>	A	Normal	1	23,5014	23,5014	23,5014
INCERTIDUMBRE COMBINADA									
FACTOR DE COBERTURA (K)									
INCERTIDUMBRE EXPANDIDA									
							47		kg/m <sup>3</sup>
2									

**R2 = 280 kg/cm<sup>2</sup> (27,5 MPa)**

<b>REPETIBILIDAD (Sr)</b>	<b>RESISTENCIA (Mpa)</b>	0,633
	<b>DENSIDAD (kg/m<sup>3</sup>)</b>	18,491
<b>CARGA MÁXIMA(kN)</b>		581,254
<b>DIAMETRO MÍNIMO (mm)</b>		150,00
<b>ALTURA MÍNIMA(mm)</b>		299
<b>MASA MÁXIMA(g)</b>		13452

<b>INCERTIDUMBRE PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN (f<sub>c</sub>)</b>							<b>280 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>METODOLOGÍA DE CÁLCULO SEGÚN ENFOQUE GUM</b>							
<b>SÍMBOLO</b>	<b>COMPONENTE DE LA INCERTIDUMBRE</b>	<b>ESTIMACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD</b>		<b>COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD</b>	<b>INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR</b>
				<b>TIPO</b>	<b>DISTRIBUCIÓN</b>		
U <sub>F1</sub>	Incertidumbre de la máquina.	640	N	B	Rectangular	1	320
U <sub>F2</sub>	Resolución de la máquina.	9,81	N	B	Rectangular	1	2,8319
U <sub>F3</sub>	Deriva de la máquina	5,5	N	B	Rectangular	1	3,1754
U <sub>Ø1</sub>	Incertidumbre del calibrador	0,04	mm	B	Rectangular	1	0,0200
U <sub>Ø2</sub>	Resolución del calibrador.	0,05	mm	B	Rectangular	1	0,0144
U <sub>Ø3</sub>	Deriva del calibrador	0,003	mm	B	Rectangular	1	0,0017
U <sub>F</sub>	FUERZA		N	B	Rectangular	0,00006	320
U <sub>Ø</sub>	DIAMETRO		mm	B	Rectangular	-0,43856	0,0247
S <sub>R</sub>	REPETIBILIDAD		Mpa	A	Normal	1	0,6330
INCERTIDUMBRE COMBINADA							0,6333
FACTOR DE COBERTURA (K)							2
INCERTIDUMBRE EXPANDIDA							1,3
<b>INCERTIDUMBRE PARA LA DENSIDAD DEL HORMIGÓN (ρ)</b> <th><b>280 (kg/cm<sup>3</sup>)</b></th>							<b>280 (kg/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>METODOLOGÍA DE CÁLCULO SEGÚN ENFOQUE GUM</b> <th></th>							
<b>SÍMBOLO</b>	<b>COMPONENTE DE LA INCERTIDUMBRE</b>	<b>ESTIMACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD</b>		<b>COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD</b>	<b>INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR</b>
				<b>TIPO</b>	<b>DISTRIBUCIÓN</b>		
U <sub>M1</sub>	Incertidumbre de la balanza.	0,53	g	B	Rectangular	1	0,2650
U <sub>M2</sub>	Resolución de la balanza.	0,1	g	B	Rectangular	1	0,0289
U <sub>M3</sub>	Deriva de la balanza.	0,05	g	B	Rectangular	1	0,0289
U <sub>h1</sub>	Incertidumbre del flexómetro.	0,11	mm	B	Rectangular	1	0,0550
U <sub>h2</sub>	Resolución del flexómetro.	1	mm	B	Rectangular	1	0,2887
U <sub>h3</sub>	Deriva del flexómetro.	0,02	mm	B	Rectangular	1	0,0115
U <sub>M</sub>	MASA		g	B	Rectangular	189,26	0,2681
U <sub>ØØ</sub>	DIAMETRO		mm	B	Rectangular	-33945,99	0,0247
U <sub>h</sub>	ALTURA		mm	B	Rectangular	-8514,88	0,2941
S <sub>R</sub>	REPETIBILIDAD		kg/m <sup>3</sup>	A	Normal	1	18,4910
INCERTIDUMBRE COMBINADA							18,6788
FACTOR DE COBERTURA (K)							2
INCERTIDUMBRE EXPANDIDA							37
							kg/m <sup>3</sup>

R3 = 350 kg/cm<sup>2</sup> (34,3 Mpa)

REPETIBILIDAD (Sr)	RESISTENCIA (Mpa)	0,803
	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	22,982
CARGA MÁXIMA(kN)		664,852
DIAMETRO MÍNIMO (mm)		149,75
ALTURA MÍNIMA(mm)		300
MASA MÁXIMA(g)		13239

INCERTIDUMBRE PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN (f'c)							350 (kg/cm <sup>2</sup> )	
METODOLOGÍA DE CÁLCULO SEGÚN ENFOQUE GUM								
SÍMBOLO	COMPONENTE DE LA INCERTIDUMBRE	ESTIMACIÓN	UNIDAD	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD TIPO	COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD	INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR	INCR. ESTÁNDAR * COEF. SENSIBILIDAD	
U <sub>F1</sub>	Incertidumbre de la máquina.	820	N	B	Rectangular	1	410	410
U <sub>F2</sub>	Resolución de la máquina.	9,81	N	B	Rectangular	1	2,8319	2,8319
U <sub>F3</sub>	Deriva de la máquina	5,5	N	B	Rectangular	1	3,1754	3,1754
U <sub>Ø1</sub>	Incertidumbre del calibrador	0,04	mm	B	Rectangular	1	0,0200	0,0200
U <sub>Ø2</sub>	Resolución del calibrador.	0,05	mm	B	Rectangular	1	0,0144	0,0144
U <sub>Ø3</sub>	Deriva del calibrador	0,003	mm	B	Rectangular	1	0,0017	0,0017
U <sub>F</sub>	FUERZA		N	B	Rectangular	0,00006	410	0,0233
U <sub>Ø</sub>	DIAMETRO		mm	B	Rectangular	-0,50416	0,0247	-0,0125
S <sub>R</sub>	REPETIBILIDAD		MPa	A	Normal	1	0,8027	0,8027
INCERTIDUMBRE COMBINADA							0,8031	Mpa
FACTOR DE COBERTURA (K)								2
INCERTIDUMBRE EXPANDIDA							1,6	Mpa
INCERTIDUMBRE PARA LA DENSIDAD DEL HORMIGÓN (ρ)							350 (kg/cm <sup>2</sup> )	
METODOLOGÍA DE CÁLCULO SEGÚN ENFOQUE GUM								
SÍMBOLO	COMPONENTE DE LA INCERTIDUMBRE	ESTIMACIÓN	UNIDAD	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD TIPO	COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD	INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR	INCR. ESTÁNDAR * COEF. SENSIBILIDAD	
U <sub>M1</sub>	Incertidumbre de la balanza.	0,53	g	B	Rectangular	1	0,2650	0,2650
U <sub>M2</sub>	Resolución de la balanza.	0,1	g	B	Rectangular	1	0,0289	0,0289
U <sub>M3</sub>	Deriva de la balanza.	0,05	g	B	Rectangular	1	0,0289	0,0289
U <sub>h1</sub>	Incertidumbre del flexómetro.	0,11	mm	B	Rectangular	1	0,0550	0,0550
U <sub>h2</sub>	Resolución del flexómetro.	1	mm	B	Rectangular	1	0,2887	0,2887
U <sub>h3</sub>	Deriva del flexómetro.	0,02	mm	B	Rectangular	1	0,0115	0,0115
U <sub>M</sub>	MASA		g	B	Rectangular	189,26	0,2681	0,0507
U <sub>dØ</sub>	DIAMETRO		mm	B	Rectangular	-33462,91	0,0247	-0,8274
U <sub>h</sub>	ALTURA		mm	B	Rectangular	-8351,78	0,2941	-2,4562
S <sub>R</sub>	REPETIBILIDAD		kg/m <sup>3</sup>	A	Normal	1	22,9821	22,9821
INCERTIDUMBRE COMBINADA							23,1278	kg/m <sup>3</sup>
FACTOR DE COBERTURA (K)								2
INCERTIDUMBRE EXPANDIDA							46	kg/m <sup>3</sup>



R4 = 425 kg/cm<sup>2</sup> (41,7 Mpa)


REPETIBILIDAD (Sr)	RESISTENCIA (Mpa)	0,760
	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	21,223
CARGA MÁXIMA(kN)		771,916
DIAMETRO MÍNIMO (mm)		150,50
ALTURA MÍNIMA(mm)		300
MASA MÁXIMA(g)		13096

INCERTIDUMBRE PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN (f'c)									
METODOLOGÍA DE CÁLCULO SEGÚN ENFOQUE GUM									
SÍMBOLO	COMPONENTE DE LA INCERTIDUMBRE	ESTIMACIÓN	UNIDAD	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD		COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD	INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR	425 (kg/cm <sup>2</sup> ) INCR. ESTÁNDAR * COEF. SENSIBILIDAD	
U <sub>F1</sub>	Incertidumbre de la máquina.	980	N	B	Rectangular	1	490	490	
U <sub>F2</sub>	Resolución de la máquina.	9,81	N	B	Rectangular	1	2,8319	2,8319	
U <sub>F3</sub>	Deriva de la máquina	5,5	N	B	Rectangular	1	3,1754	3,1754	
U <sub>φ1</sub>	Incertidumbre del calibrador	0,04	mm	B	Rectangular	1	0,0200	0,0200	
U <sub>φ2</sub>	Resolución del calibrador.	0,05	mm	B	Rectangular	1	0,0144	0,0144	
U <sub>φ3</sub>	Deriva del calibrador	0,003	mm	B	Rectangular	1	0,0017	0,0017	
U <sub>F</sub>	FUERZA		N	B	Rectangular	0,00006	490	0,0275	
U <sub>φ</sub>	DIAMETRO		mm	B	Rectangular	-0,57663	0,0247	-0,0143	
S <sub>R</sub>	REPETIBILIDAD		Mpa	A	Normal	1	0,7604	0,7604	
INCERTIDUMBRE COMBINADA									
FACTOR DE COBERTURA (K)									
INCERTIDUMBRE EXPANDIDA									
							1,5		
Mpa									
2									
INCERTIDUMBRE PARA LA DENSIDAD DEL HORMIGÓN (ϕ )									
METODOLOGÍA DE CÁLCULO SEGÚN ENFOQUE GUM									
SÍMBOLO	COMPONENTE DE LA INCERTIDUMBRE	ESTIMACIÓN	UNIDAD	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD		COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD	INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR	425 (kg/cm <sup>2</sup> ) INCR. ESTÁNDAR * COEF. SENSIBILIDAD	
U <sub>M1</sub>	Incertidumbre de la balanza.	0,53	g	B	Rectangular	1	0,2650	0,2650	
U <sub>M2</sub>	Resolución de la balanza.	0,1	g	B	Rectangular	1	0,0289	0,0289	
U <sub>M3</sub>	Deriva de la balanza.	0,05	g	B	Rectangular	1	0,0289	0,0289	
U <sub>h.1</sub>	Incertidumbre del flexómetro.	0,11	mm	B	Rectangular	1	0,0550	0,0550	
U <sub>h.2</sub>	Resolución del flexómetro.	1	mm	B	Rectangular	1	0,2887	0,2887	
U <sub>h.3</sub>	Deriva del flexómetro.	0,02	mm	B	Rectangular	1	0,0115	0,0115	
U <sub>M</sub>	MASA		g	B	Rectangular	187,38	0,2681	0,0502	
U <sub>dφ</sub>	DIAMETRO		mm	B	Rectangular	-32608,55	0,0247	-0,8063	
U <sub>h</sub>	ALTURA		mm	B	Rectangular	-8179,31	0,2941	-2,4055	
S <sub>R</sub>	REPETIBILIDAD		kg/m <sup>3</sup>	A	Normal	1	21,2231	21,2231	
INCERTIDUMBRE COMBINADA									
FACTOR DE COBERTURA (K)									
INCERTIDUMBRE EXPANDIDA									
							43		
kg/m <sup>3</sup>									
2									

**ANEXO X**


**RESULTADOS DE PRUEBAS INTERLABORATORIO.**

LABORATORIO 1



# PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,  
MÉCANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



## ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

### INFORME DE ENSAYO

#### DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBITAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN

**PROYECTO:** TUNA P.N

**LOCALIZACIÓN:** Guano

**MUESTRA:** Tomada por el Cliente

**NORMA DE REFERENCIA DE ENSAYO:** ASTM C409-04 - IV

**PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:** LAC 4871-04-AN0-1

**NORMA DE REFERENCIA REFERENCIAL:** ASTM C1091-03/01R-10 - Referencia no oficial

**PROCEDIMIENTO DE REFERENCIAL:** LAC 4871-04-AN0-1-2

**REALIZADO POR:** Tania Latorre

**FISCALIZACIÓN:** \_\_\_\_\_









**CONTRATISTA:** \_\_\_\_\_

**FECHA DE INICIO:** 2018-08-08

**FECHA DE FIN:** 2018-08-17

**GRUPO DE TRABAJOS:** 0170


HOJA: 1 de 2


Prueba N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Identificación de la probeta	20	21	3	19	30	40	40	1
Comentarios	---	---	---	---	---	---	---	---
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa	---	---	---	---	---	---	---	---
Fecha de fabricación	2018-08-07	2018-08-07	2018-08-07	2018-08-07	2018-08-07	2018-08-07	2018-08-07	2018-08-07
Fecha de ensayo	2018-08-17	2018-08-17	2018-08-17	2018-08-17	2018-08-17	2018-08-17	2018-08-17	2018-08-17
Edad (días)	41	41	41	41	41	41	41	41
Alto de ensayo	10,00	10,00	10,01	10,04	10,07	10,40	10,40	10,40
Diámetro 1 (mm)	102,20	102,27	101,80	102,20	102,28	101,80	101,70	102,02
Diámetro 2 (mm)	102,20	102,41	102,48	102,17	102,26	102,27	101,28	101,87
Diámetro promedio (mm)	101,78	102,30	102,25	102,16	102,26	102,26	101,50	101,95
Relación entre diámetros (%)	0,99	0,99	0,97	0,94	0,99	0,99	0,96	0,99
Área promedio (mm²)	807	808	804	802	800	804	800	800
Relación AS	2,07	1,89	0,90	1,89	1,88	2,00	2,07	1,98
Área (mm²)	1806	1809	1808	1800	1806	1814	1818	1814
Volumen (m³)	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
Masa (kg)	18,30	18,73	18,80	18,80	18,84	18,87	18,28	18,57
Peso unitario (kg/m³)	2300	2308	2308	2310	2310	2307	2290	2290
Carga máxima (kN)	407,8	417,2	390,9	373,9	388,2	347,7	370,9	390,9
Factor de corrección	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Resistencia a la Compresión (MPa)</b>	<b>22,5</b>	<b>22,8</b>	<b>19,8</b>	<b>20,2</b>	<b>20,7</b>	<b>20,7</b>	<b>21,8</b>	<b>22,8</b>
Resistencia esperada (1,5 - 1,4) MPa	---	---	---	---	---	---	---	---
Tipo de Falla								

**INDICACIONES:**

- Toda probeta tomada por el Cliente.
- Unidades en Comprimidos: 1 MPa = 10,2 kg/cm²
- Este informe de ensayo no debe ser considerado permanente.
- El valor de la resistencia se refiere únicamente para probetas de 28 días, con un factor AS que corresponde a un 30,4% de confidencia en una distribución normal.
- El diámetro promedio para probetas de espesor 0,23 mm más tolerancia, según norma de referencia.

Medellín y Av. 12 de Octubre  
Tel.: 593 3 294 1124  
Fax: 593 3 294 9430  
Quito - Ecuador  
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES  
www.puce.edu.ec

  
Tania Latorre  
RESPONSABLE DEL ÁREA

  
Tania Latorre  
COORDINADORA GENERAL

Indicada en la certificación, respaldada en la calidad.



**PUCE**

Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,  
MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTECNICA  
FACULTAD DE INGENIERIA



**ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION**  
**EN PRUBAS CILINDRICAS DE HORMIGÓN**

PROYECTO : Tesis F.A.

ELUCIDADO POR : Sergio Zambrano

LOCALIZACIÓN : Guayaquil

FISCALIZACIÓN : \_\_\_\_\_

MUESTRA : Tomada por el Cliente

CONTRACTO : \_\_\_\_\_

NÚMERO DE REFERENCIA DE ENSAYO : A27M 020000 10

FECHA DE INGRESO : 2018-08-28

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO : (AC 308) A a 28 días

FECHA DE EMISIÓN : 2018-09-12

NÚMERO DE REFERENCIA REFERENCIAL : A27M 020000 02118 10 - Laboratorio ad-hoc

ORDEN DE TRABAJO N° : 0218

PROCEDIMIENTO DE REFERENCIAL : (AC 308) A a 28 días

PG. 04 | 1 de 1

Prueba N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Identificación de la prueba	4	43	15	37	4	2	1	2
Descripción	---	---	---	---	---	---	---	---
Resistencia de diseño esperada a los 28 días (MPa)	---	---	---	---	---	---	---	---
Fecha de fabricación	2018-08-15	2018-08-15	2018-08-15	2018-08-15	2018-08-15	2018-08-15	2018-08-15	2018-08-15
Fecha de ensayo	2018-09-11	2018-09-11	2018-09-11	2018-09-11	2018-09-11	2018-09-11	2018-09-11	2018-09-11
Ejes (mm)	37	37	37	37	37	37	37	37
Área de ensayo	1369	1369	1369	1369	1369	1369	1369	1369
Diámetro (mm)	118.17	118.28	118.28	118.28	118.28	118.28	118.28	118.28
Alteza (mm)	161.73	161.26	161.81	161.58	161.76	161.71	161.76	161.88
Diámetro promedio (mm)	118.28	118.28	118.28	118.28	118.28	118.28	118.28	118.28
Desviación entre diámetros (%)	0.28	0.28	0.28	0.28	0.10	0.10	0.27	0.41
Área promedio (mm²)	354	353	353	354	355	353	354	355
Resistencia (MPa)	3.25	3.22	3.25	3.22	3.25	3.25	3.25	3.25
Área (mm²)	19140	18380	18380	18380	18380	18380	18380	18380
Volumen (mm³)	5,326	5,326	5,326	5,326	5,326	5,326	5,326	5,326
Resistencia (MPa)	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	12.76	12.81	12.81
Pres. última (kgf/cm²)	3280	3280	3280	3280	3280	3280	3280	3280
Carga máxima (kN)	218.2	227.3	214.3	228.2	227.1	226.4	227.3	225.4
Factor de conversión	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Resistencia a la Compresión (MPa)	34.5	35.3	34.5	35.3	34.5	34.5	34.5	34.5
Resistencia esperada (1), (AC 308)	---	---	---	---	---	---	---	---
Fig. de Falla								

**CONCLUSIONES:**

- Cálculo y determinación por el Cliente.
- Unidades de resistencia: 1 MPa = 14.2 kgf/cm²
- Este informe es válido en todo el territorio nacional.
- El error de la muestra de ensayo, únicamente para pruebas de 28 días, con un factor K42 que corresponde a un 10.4% de coeficiente de variación normal.
- El número promedio de la prueba es de 34.5 MPa más o menos, según norma de referencia.

Venezuela y Av. 12 de Octubre  
Tel.: 593 2 296 1323  
Cel.: 099 704 9400  
Quito - Ecuador  
CNO-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

Dr. Pedro Linares  
RESPONSABLE DEL SERVICIO

Ing. Sergio Zambrano  
COORDINADOR DEL SERVICIO

Ing. Juan Carlos Zambrano  
SOLICITANTE

Solidaridad en la construcción, excelencia en la calidad.







**ANEXO XI**

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA ENTRE LABORATORIOS (210 kg/cm<sup>2</sup>, 280 kg/cm<sup>2</sup>, 350 kg/cm<sup>2</sup> y 425 kg/cm<sup>2</sup>).**

R1 = 210 kg/cm<sup>2</sup> (20,5 MPa)

ANOVA		RESISTENCIA = 210 kg/cm <sup>2</sup> (20,5 MPa)		
n = OBSERVACIONES	n° = Laboratorios			
	1	2	3	
1	19,2	22,5	19,7	
2	19,0	22,8	15,6	
3	19,1	19,8	17,4	
4	19,1	20,3	15,7	
Promedio:	19,19			
N =	12	Número total de observaciones		
gl <sub>T</sub> =	11	Grados de libertad totales		
gl <sub>B</sub> =	2	Grados de libertad entre grupos		
gl <sub>W</sub> =	9	Grados de libertad dentro del grupo		
Cálculo	1	2	3	TOTAL
Σ xi	75,40	85,40	68,40	230,29
Σ xi <sup>2</sup>	1462,55	1830,22	1180,70	4473,45
Origen de la Varianza	Grados de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SDC)	cuadrados medios (DCM)	
Entre grupos (B)	2	36,154	18,077	
Dentro del grupo (W)	9	18,001	2,000	
Total (T)	11	54,155	4,923	
$S_L^2 =$	4,0192			
Repetibilidad ( $S_r$ ) =	1,414			
Reproducibilidad ( $S_R$ ) =	2,453			
CVr (%) =	7,370			
CVR (%) =	12,785			
F <sub>calc.</sub> =	9,038			
Probabilidad (2 colas) =	0,025			
F <sub>crit.</sub> =	5,715			
<b>F<sub>cal.</sub> &gt; F<sub>crit.</sub> Existen diferencias significativas entre laboratorios.</b>				

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	4	76,486	19,1214	0,0038		
Columna 2	4	85,4	21,35	2,31		
Columna 3	4	68,4	17,1	3,6867		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad d	Valor crítico para F
Entre grupos	36,15360246	2	18,0768	9,0377	0,0070	5,7147
Dentro de los grupos	18,00137223	9	2,0002			
Total	54,1549747	11				
$S_L^2 =$	4,0192					
Repetibilidad ( $S_r$ ) =	1,414					
Reproducibilidad ( $S_R$ ) =	2,453					
CVr (%) =	7,370					
CVR (%) =	12,785					
<b>F<sub>cal.</sub> &gt; F<sub>crit.</sub> Existen diferencias significativas entre laboratorios.</b>						

## R2 = 280 kg/cm<sup>2</sup> (27,5 MPa)

ANOVA	RESISTENCIA = 280 kg/cm <sup>2</sup> (27,5 MPa)			
n = OBSERVACIONES	n'= Laboratorios			
	1	2	3	
1	31,0	36,7	31,2	
2	29,8	35,7	26,6	
3	28,7	31,6	32,5	
4	29,9	35,0	29,7	
<b>Promedio:</b>	31,54			
<b>N</b> =	12	Número total de observaciones		
<b>gl<sub>T</sub></b> =	11	Grados de libertad totales		
<b>gl<sub>B</sub></b> =	2	Grados de libertad entre grupos		
<b>gl<sub>W</sub></b> =	9	Grados de libertad dentro del grupo		
<b>Cálculo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Σ xi</b>	119,52	139,00	120,00	<b>378,52</b>
<b>Σ xi<sup>2</sup></b>	3573,72	4844,94	3619,34	<b>12038,00</b>
<b>Origen de la Varianza</b>	<b>Grados de libertad (gl)</b>	<b>Suma de cuadrados (SDC)</b>	<b>cuadrados medios (DCM)</b>	
<b>Entre grupos (B)</b>	2	61,737	30,869	
<b>Dentro del grupo (W)</b>	9	36,710	4,079	
<b>Total (T)</b>	11	98,448	8,950	
<b>S<sub>L</sub><sup>2</sup></b> =	6,6974			
<b>Repetibilidad (S<sub>r</sub>)</b> =	2,020			
<b>Reproducibilidad (S<sub>R</sub>)</b> =	3,283			
<b>CVr (%)</b> =	6,403			
<b>CVR (%)</b> =	10,407			
<b>F calc.</b> =	7,568			
<b>Probabilidad (2 colas)</b> =	0,025			
<b>F crit.</b> =	5,715			
<b>F<sub>cal.</sub> &gt; F<sub>crit.</sub> Existen diferencias significativas entre laboratorios.</b>				

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	5	151,059	30,2119	1,22383		
Columna 2	4	139	34,75	4,896667		
Columna 3	4	120	30	6,446667		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	61,7374	2	30,869	7,567	0,012	5,714
Dentro de los grupos	36,7103	9	4,079			
Total	98,4477	11				
<b>S<sub>L</sub><sup>2</sup></b> =	6,697					
<b>Repetibilidad (S<sub>r</sub>)</b> =	2,020					
<b>Reproducibilidad (S<sub>R</sub>)</b> =	3,283					
<b>CVr (%)</b> =	6,403					
<b>CVR (%)</b> =	10,407					
<b>F<sub>cal.</sub> &gt; F<sub>crit.</sub> Existen diferencias significativas entre laboratorios.</b>						



**R3 = 350 kg/cm<sup>2</sup> (34,3 MPa)**

ANOVA	RESISTENCIA = 350 kg/cm <sup>2</sup> (34,3 MPa)			
n = OBSERVACIONES	n' = Laboratorios			
	1	2	3	
1	36,1	34,0	30,4	
2	34,2	35,2	28,5	
3	32,3	39,5	28,6	
4	34,2	33,3	36,7	
<b>Promedio:</b>	33,58			
<b>N =</b>	12	Número total de observaciones		
<b>gl<sub>T</sub> =</b>	11	Grados de libertad totales		
<b>gl<sub>B</sub> =</b>	2	Grados de libertad entre grupos		
<b>gl<sub>W</sub> =</b>	9	Grados de libertad dentro del grupo		
<b>Cálculo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Σ xi</b>	136,80	142,00	124,20	<b>403,00</b>
<b>Σ xi<sup>2</sup></b>	4685,39	5064,18	3901,26	<b>13650,83</b>
<b>Origen de la Varianza</b>	<b>Grados de libertad (gl)</b>	<b>Suma de cuadrados (SDC)</b>	<b>cuadrados medios (DCM)</b>	
<b>Entre grupos (B)</b>	2	41,883	20,941	
<b>Dentro del grupo (W)</b>	9	75,090	8,343	
<b>Total (T)</b>	11	116,972	10,634	
<b>S<sub>L</sub><sup>2</sup> =</b>	3,1495			
<b>Repetibilidad (S<sub>r</sub>) =</b>	2,888			
<b>Reproducibilidad (S<sub>R</sub>) =</b>	3,390			
<b>CVr (%) =</b>	8,601			
<b>CVR (%) =</b>	10,095			
<b>F calc. =</b>	2,510			
<b>Probabilidad (2 colas) =</b>	0,025			
<b>F crit. =</b>	5,715			
<b>F<sub>cal.</sub> &lt; F<sub>crit.</sub> No existen diferencias significativas entre los laboratorios.</b>				

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	4	136,797	34,199	2,353		
Columna 2	4	142	35,5	7,727		
Columna 3	4	124,2	31,05	14,95		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	41,883	2	20,941	2,510	0,136	5,715
Dentro de los grupos	75,090	9	8,343			
Total	116,972	11				
$S_L^2 =$		3,149				
Repetibilidad ( $S_r$ ) =		2,888				
Reproducibilidad ( $S_R$ ) =		3,390				
Cvr (%) =		8,601				
CVR (%) =		10,095				
<b><math>F_{cal.} &lt; F_{crit.}</math> No existen diferencias significativas entre los laboratorios.</b>						

PRUEBA T-STUDENT	RESISTENCIA = 350 kg/cm <sup>2</sup> (34,3MPa)		
n = OBSERVACIONES	n'= Laboratorios		
	1	2	3
1	36,1	34,0	30,4
2	34,2	35,2	28,5
3	32,3	39,5	28,6
4	34,2	33,3	36,7
<b>Promedio:</b>	34,2	35,5	31,1
<b>Desviación Estandar (S):</b>	1,328	2,407	3,349
<b>Varianza (S<sup>2</sup>):</b>	1,765	5,795	11,213
<b>gdl</b>	3	3	3
gdl abs:	4	4	4
Probabilidad:	0,025	0,025	0,025
Varianza Media (S <sub>med.</sub> <sup>2</sup> ):	3,780	8,504	6,489
t calc:	0,8195	1,8690	1,5141
t crit:	3,495	3,495	3,495
<b>T<sub>cal.</sub> &lt; T<sub>crit.</sub></b>	<b>No existen diferencias significativas entre laboratorios 1 y 2.</b>	<b>No existen diferencias significativas entre laboratorios 2 y 3.</b>	<b>No existen diferencias significativas entre laboratorios 1 y 3.</b>

**R3 = 425 kg/cm<sup>2</sup> (41,7 MPa)**

ANOVA	RESISTENCIA = 425 kg/cm <sup>2</sup> (41,7 MPa)			
n = OBSERVACIONES	n'= Laboratorios			
	1	2	3	
1	41,1	44,0	40,0	
2	39,6	47,5	42,8	
3	38,2	49,3	47,5	
4	39,6	47,4	45,5	
<b>Promedio:</b>	43,54			
<b>N</b> =	12	Número total de observaciones		
$gl_T$ =	11	Grados de libertad totales		
$gl_B$ =	2	Grados de libertad entre grupos		
$gl_W$ =	9	Grados de libertad dentro del grupo		
<b>Cálculo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>TOTAL</b>
$\sum xi$	158,49	188,20	175,80	<b>522,49</b>
$\sum xi^2$	6283,56	8869,50	7758,34	<b>22911,40</b>
<b>Origen de la Varianza</b>	<b>Grados de libertad (gl)</b>	<b>Suma de cuadrados (SDC)</b>	<b>cuadrados medios (DCM)</b>	
<b>Entre grupos (B)</b>	2	111,376	55,688	
<b>Dentro del grupo (W)</b>	9	50,775	5,642	
<b>Total (T)</b>	11	162,151	14,741	
$S_L^2 =$	12,5116			
<b>Repetibilidad (<math>S_r</math>) =</b>	2,375			
<b>Reproducibilidad (<math>S_R</math>) =</b>	4,261			
<b>CVr (%) =</b>	5,455			
<b>CVR (%) =</b>	9,786			
<b>F calc. =</b>	9,871			
<b>Probabilidad (2 colas) =</b>	0,025			
<b>F crit. =</b>	5,715			
<b>F<sub>cal.</sub> &gt; F<sub>crit.</sub> Existen diferencias significativas entre laboratorios.</b>				

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	4	158,485	39,621	1,3849		
Columna 2	4	188,2	47,05	4,8967		
Columna 3	4	175,8	43,95	10,6433		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	111,376	2	55,688	9,871	0,005	5,715
Dentro de los grupos	50,775	9	5,642			
Total	162,151	11				
$S_L^2 =$	12,512					
<b>Repetibilidad (<math>S_r</math>) =</b>	7,462					
<b>Reproducibilidad (<math>S_R</math>) =</b>	8,258					
<b>CVr (%) =</b>	17,139					
<b>CVR (%) =</b>	18,967					
<b>F<sub>cal.</sub> &gt; F<sub>crit.</sub> Existen diferencias significativas entre laboratorios.</b>						