

SISTEMATIZACIÓN DE CÁLCULOS EN EL PROCESO DE ACREDITACION DE
LA EMPRESA LÓPEZ HERMANOS LTDA

SANDRA VIVIANA MESA ÁVILA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2018

SISTEMATIZACIÓN DE CÁLCULOS EN EL PROCESO DE ACREDITACION DE
LA EMPRESA LÓPEZ HERMANOS LTDA

SANDRA VIVIANA MESA ÁVILA

Práctica con Proyección Empresarial

Libardo Adolfo López Ramírez

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2018

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja (___, ___, ___)

CONTENIDO

	PÁG.
INTRODUCCIÓN	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
2. OBJETIVOS	10
2.2 OBJETIVO GENERAL.....	10
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. ALCANCE.....	11
4. JUSTIFICACIÓN.....	14
5. MARCO DE REFERENCIA	16
5.1 MARCO CONTEXTUAL	16
5.2 MARCO TEORICO	17
6 DISEÑO METODOLÓGICO	29
7 DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	31
7.1 ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	31
7.2 PASOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	31
7.3 EJEMPLO DE ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.....	45
7.4 ELABORACIÓN DE PLANTILLAS EN EXCEL.....	63
8 CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	

LISTA DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1 Diagrama para la estimación de incertidumbres de medición según guía del centro nacional de metrología	25
Figura 2. Distribucion normal.....	43
Figura 3. Etapas del proceso de Humedad Natural.....	46
Figura 4. Variables de cada etapa del proceso de humedad	47
Figura 5. Diagrama de fuentes de incertidumbre en el ensayo de humedad natural	49
Figura 6. Componentes de la incertidumbre asociada a FB.....	56
Figura 7. Hoja “variables” de plantilla para ensayo de Azul de Metileno	66
Figura 8. Hoja “variables de entrada” para el ensayo de azul de metileno.....	67
Figura 9. Formato de Informe de ensayo en "Hoja de cálculo" para ensayo de Azul de Metileno.....	68
Figura 10. Interfaz para la introducción de variables en el software ILAB.....	70
Figura 11. Creación de Ensayos en la plataforma de ILAB.....	71
Figura 12. Asociación Ensayo- Variat ayo Azul de Metileno	71

LISTA DE TABLAS

	PAG
Tabla 1. Lista de ensayos y normas respectivas.....	11
Tabla 2. Resumen estimación de la incertidumbre.....	44
Tabla 3. Tipologías de las fuentes de incertidumbre para ensayo de Humedad Natural.....	52
Tabla 4. Incertidumbre de la medición de masas	53
Tabla 5. Incertidumbre del factor Fts	56
Tabla 6 Cálculo de coeficiente de sensibilidad ci	58
Tabla 7. Resumen de incertidumbre del ensayo de Humedad Natural	62
Tabla 8. Discriminación de variables en entrada, proceso y salida	64

INTRODUCCIÓN

En el sector de la construcción es bien sabido que para cualquier proyecto se debe identificar, la resistencia y cualidades del suelo que servirá de soporte a la estructura, paralelo a dicha acción, o incluso antes, se realiza el diseño de la misma, donde se especifica el material a utilizar y su dimensionamiento, tal que resista las cargas a las que será sometida la estructura. Para la estimación de los parámetros de resistencia y caracterización tanto del suelo como de los materiales de construcción, se realiza una serie de ensayos y análisis de laboratorio que deben llevarse a cabo bajo un proceso cuidadoso a fin de brindar resultados verídicos y por ende confiables.

Razón por la cual los institutos metrológicos se han dado a la tarea de normalizar los procedimientos para la elaboración de ensayos. En el caso particular de los laboratorios de suelos, materiales y pavimentos en Colombia, las normas son estipuladas y/o certificadas en su mayoría por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, nombrado como el Organismo Nacional de Normalización de Colombia.

El presente libro abordará específicamente el proceso de la estimación de la incertidumbre y el trabajo de sistematización de cálculos en el proceso de acreditación de la empresa López Hermanos, que actualmente implementa un plan de mejoramiento del sistema de gestión de calidad, siguiendo las recomendaciones brindadas en la NTC-ISO/IEC 17025:2005, titulada “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”, que regula los parámetros metrológicos para la aceptación de los resultados arrojados en los laboratorios.

La sistematización que se llevó a cabo en la pasantía mediante la herramienta EXCEL servirá de proceso interno al software ILAB, desarrollado para dicha mejora por profesionales en sistemas, éstas incluyen la clasificación y organización de variables en variables de entrada, de proceso y salida, la estipulación de criterios de validación para las mismas y especificación de fórmulas de cálculo. Además la programación de cálculos y organización de resultados en formatos para la generación de informes de ensayo que cumplan con lo estipulado en la NTC-ISO/IEC 17025.

Las plantillas de programación con sus correspondientes formatos de informe se realizaron para 43 ensayos, sin embargo, por tratarse de un trabajo repetitivo, en el siguiente libro se describirá el procedimiento para uno de los ensayos y se aclarará

las variantes e inconvenientes que surgieron en algunas plantillas y etapas de la pasantía.

La estimación de la incertidumbre* es un tema de gran importancia y con amplia acogida en la norma ISO/IEC 17025, por lo que en el presente libro se brinda una guía del procedimiento para la estimación de la incertidumbre pertinente a los ensayos ofrecidos por la empresa (Ensayos de suelos, materiales de construcción y pavimentos).

* La incertidumbre es la duda que existe a cerca del resultado de cualquier medición, definido por un rango donde se puede encontrar el valor real de la medición.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La línea de trabajo llevada a cabo por el laboratorio López Hermanos Ltda. en tema de ensayos de laboratorio y estudios de suelos tiene el siguiente proceso:

1. Se realiza una orden por el cliente, una vez negociada y acordada se toman los datos e información necesaria para el proyecto.
2. Se programa y realiza el trabajo de campo, se extraen las muestras correspondientes y se llevan al laboratorio donde se registran.
3. Se ensayan las muestras y se diligencian los formatos de ensayo con los datos obtenidos
4. Estos datos se pasan al auxiliar de ingeniería para digitalizarlos en la hoja de cálculo de EXCEL
5. A partir de los resultados arrojados, una vez revisados y verificada su consistencia, se hace el análisis de resultados y se genera un informe dando cumplimiento a la orden del cliente.

Mediante una evaluación al sistema de gestión de la empresa, teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma ISO/IEC 17025, se encontraron varios puntos por mejorar, uno de ellos es la automatización de los cálculos, objetivo de la pasantía, mediante el cual se pretende darle solución a los siguientes problemas:

- Errores en la digitalización de los formatos diligenciados por el personal de laboratorios, por caligrafía poco legible.
- Fácil eliminación o edición de fórmulas programadas en el EXCEL, dado a la presencia cercana de celdas programadas en la misma hoja donde se tienen las celdas dispuestas para la entrada de datos. Excel no permite la protección de celdas individuales, pero sí de hojas completas.
- Excel programado con demasiada información, trayendo como consecuencia bloqueos del programa e incluso perder trabajo avanzado de digitalización por cierres inesperados.
- Baja protección de los archivos en Excel utilizados en el proceso de cálculo, cuya programación representó costos a la empresa.

Es así como la propuesta de mejora al sistema de gestión de calidad de la empresa, incluye la implementación del software ILab, dando lugar a la creación de las plantillas elaboradas durante la pasantía. Adicionalmente se vio la necesidad de elaborar una guía para el procedimiento de medición de la incertidumbre de los ensayos, cuya práctica brindará la información de la confiabilidad de los ensayos realizados por la empresa.

2. OBJETIVOS

Los objetivos estipulados para el trabajo de pasantía en la empresa López Hermanos son los siguientes:

2.2 OBJETIVO GENERAL

Realizar la sistematización de cálculos y presentación de resultados de ensayo según la normativa ISO/ IEC 17025, como parte del proceso de acreditación de la empresa LÓPEZ HERMANOS LTDA.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.3.1 Determinar el procedimiento para la estimación de la incertidumbre de la medición para los 43 ensayos (ver tabla 1), dando cumplimiento a lo mencionado en el numeral 5.4.6.2 de la norma ISO/ IEC 17025.

2.3.2 Verificar y sistematizar los cálculos para los 43 ensayos (ver tabla 1), utilizando EXCEL, para generar informes de ensayo que cumplan los requisitos de los numerales 5.4.7.1 y 5.4.7.2 apartado (a) de la norma ISO/ IEC 17025.

2.3.3 Crear los formatos para los informes de ensayo teniendo en cuenta cada uno de los requisitos del numeral 5.10.1, 5.10.2, 5.10.3, 5.10.8 y 5.10.9 de la norma internacional ISO/ IEC 17025.

3. ALCANCE

El alcance del proyecto se limita al cumplimiento de los objetivos para 43 de los ensayos realizados en la empresa, la Tabla 1 puntualiza los ensayos trabajados:

Tabla 1. Lista de ensayos y normas respectivas

Nº	Ensayo	Norma vigente- Método de Ensayo
1	10 % de finos	INV E-224-2013
2	Angulosidad de la fracción fina	INV E-239-2013
3	Azul de metileno	INV E-235-2013
4	CBR campo (por penetración)	INV E-169-2013
	CBR sobre material cohesivo (método II)	INV E-169-2013
	CBR sobre material granular (método I)(Incluye Proctor)	INV E-148-2013
	CBR Sobre muestra inalterada (por punto)	INV E-148-2013
5	Compactación modificada (molde de 1/13.13 pie cúbico)	INV E-141-2013
6	Compactación estándar (molde 1/30 pie cúbico)	INV E-142-2013
7	Compresión inconfiada (muestra de Shelby)	INV E-152-2013
8	Consolidación lenta con descarga (gráfica e-logP y CV-logP) Incluye Gs	INV E-151-2013
	Consolidación lenta con doble ciclo de carga y descarga (gráfica e-logP y CV-logP),Gs	INV E-151-2013
	Consolidación rápida, Gs	INV E-151-2013
9	Contenido de asfalto	INV E-732-2013
10	Corte directo consolidado drenado	INV E-154-2013
11	Densidad en arena	INV E-222-2013
12	Densidad en el terreno, densímetro nuclear (día)	INV E-164-2013

Tabla 1(Continuación)

12	Densidad en el terreno, densímetro nuclear (punto)	INV E-164-2013
13	Densidad en el terreno, método cono y arena (punto)	INV E-161-2013
14	Densidad en gravas	INV E-223-2013
15	Desgaste en la máquina de los ángeles	INV E-218/215-2013
16	Equivalente de arena	INV E-133-2013
17	Estabilidad Marshall (1 briqueta)	INV E-733/748-2013
18	Expansión libre en consolidómetro	INV E-173-2013
19	Granulometría por hidrómetro	INV E-123-2013
20	Granulometría por tamizado mecánico con lavado	INV E-123-2013
21	Gravedad específica de sólidos inalterados	INV E-128-2013
22	Gravedad específica máxima medida de mezclas asfálticas (RICE)	INV E-735-2013
23	Humedad Natural	INV E-122-2013
24	Índice de alargamiento y aplanamiento	INV E-230-2013
25	Caras fracturadas	INV E-227-2013
26	Índice de colapso	INV E-157-2013
27	Lavado sobre tamiz # 200	INV E-123-2013
28	Límite de contracción	INV E-157-2013
29	Límites de Atterberg (líquido y plástico)	INV E-125-2013
30	Masa unitaria	INV E-217-2013
31	Microdeval	INV E-238-2013
32	Módulo de rotura en adoquines	NTC-4017-2005
33	Módulo de rotura en viguetas de hormigón	INV E-415-2013
34	Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable	INV E-221-2013
35	Método para determinar partículas planas y alargadas en agregado grueso	INV E-240-2013
36	Peso específico en gravas o arenas	INV E-217-2013
37	Peso unitario de briquetas de mezclas asfálticas sin parafinado	INV E-733/748-2013
38	Prueba de resistencia con esclerómetro (área de 20 impactos)	NTC 3692-1995
39	Resistencia a los sulfatos, 5 ciclos	INV E-220-2013

Tabla 1(Continuación)

40	Rotura con tres apoyos de tubos de concreto simple o reforzado desde 14" hasta 36"	NTC-3676-2002
41	Rotura por compresión de bloques huecos de hormigón o arcilla	NTC 4017- 2002
42	Rotura por compresión de cilindros normales de hormigón	NTC 673-2010
43	Rotura por compresión en cubos 5X5 de mortero	NTC-4043-2000

Fuente: LÓPEZ HERMANOS. *Documento de Apoyo del Sistema de Gestión de Calidad, Lista de Tarifas 2017.*

4. JUSTIFICACIÓN

Las empresas en general tienen la necesidad diaria de mejorar para estar a la vanguardia en el mundo competitivo y sobre todo para garantizar la confiabilidad de los resultados. La organización LÓPEZ HERMANOS LTDA con 35 años de experiencia en la realización de estudios de suelos, ensayos de concretos y pavimentos, y perforación de pozos profundos, está comprometida con la calidad y eficiencia de sus resultados, es así que viene desarrollando un programa de mejora que le permita cumplir con los requisitos de la norma ISO/IEC 17025 y posicionarse entre las mejores empresas prestadoras de estos servicios.

Dentro de la serie de procedimientos que se realizan en la empresa López Hermanos son varios los factores a tener en cuenta para disminuir errores e incertidumbre en los resultados de laboratorio. A grandes rasgos la calidad de un resultado solicitado por el cliente depende del cuidado que se tenga en cada una de las siguientes etapas:

1. Tratamiento y/o extracción de la muestra en el campo o construcción
2. Procedimiento de laboratorio
3. Procedimiento de oficina (cálculos y análisis de resultados)
4. Informe de resultados

El primer objetivo, relacionado con la incertidumbre de los ensayos, da una visión retrospectiva a estas cuatro etapas de cada ensayo para brindar un procedimiento acertado en la estimación de la incertidumbre. Definir dicho procedimiento y realizar un informe que brinde los resultados de la incertidumbre de forma clara y concisa es muy importante ya que con dicha información se dará aceptación al valor arrojado por el laboratorio. Además definir bien este procedimiento significa no dudar de la duda que se tiene a cerca del resultado, si se hace una mala definición de dicho proceso, solo se aumentaría la incertidumbre del ensayo.

La sistematización de cálculos y elaboración de los formatos de resultados serán de gran ayuda en el proceso de acreditación debido a que corroborará con el cumplimiento de los numerales 5.4.7.1 y 5.4.7.2 apartado (a) y 5.10.1, 5.10.2, 5.10.3, 5.10.8, 5.10.9 de la norma internacional ISO/ IEC 17025 respectivamente.

La sistematización total del procedimiento de cálculos se hará mediante el acople del trabajo llevado a cabo en la pasantía y el software ILAB, que permitirá un desarrollo más organizado, rápido y de calidad desde el momento en que se realiza la orden por el cliente hasta la entrega del informe.

El desarrollo de la pasantía amplía el conocimiento en el área de materiales de construcción, pavimentos y suelos al hacer un estudio discerniente de los procedimientos estipulados en las normas correspondientes para cada ensayo. Así mismo, el trabajo conjunto al ingeniero de sistemas encargado del software especializado, ayuda a adquirir destrezas de trabajo en equipo y habilidades comunicativas.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO CONTEXTUAL

Con el fin de contextualizar el tema sobre el cual se trabajó, se hace necesario brindar información de la organización López Hermanos, el lugar y materiales de trabajo y una descripción del software para el cual se integrarán las plantillas trabajadas durante la pasantía.

5.1.1 Organización López Hermanos. La organización López Hermanos Ltda.¹ es una empresa líder en el área de la geotecnia, en laboratorio y consultoría en el centro oriente Colombiano que trabaja hace 35 años en el sector de la construcción, presta a la realización de estudios de suelos, realización de ensayos de laboratorio de suelos, concretos y pavimentos y la perforación y mantenimiento de pozos profundos.

Gracias a que cuenta con un sistema de gestión de calidad debidamente documentado para su estricta implementación diaria, cuenta desde el 2008 con certificación ISO 9001:2008.

La empresa López Hermanos está comprometida con el mejoramiento continuo del servicio y calidad de resultados, es así como para el año 2019 se tienen propuesto ser reconocidos en Colombia y Latinoamérica como líderes en la prestación de servicios de consultoría en ingeniería y construcción de pozos profundos. Dentro de dicho propósito la empresa viene trabajando desde el año 2015 en la implementación del plan para la revisión y mejora del sistema de gestión, control de documentos, datos y registros, equipos y proceso de muestreo, con el fin de dar cumplimiento a los requisitos para la competencia de laboratorios de ensayos y calibración brindados por la norma ISO/IEC 17025:2005.

5.1.2 Lugar, tiempo y materiales de trabajo. El trabajo se realizó en la ciudad de Tunja (Boyacá), en las oficinas de la empresa, situadas en la Av. Norte No.48-57. Como equipo de trabajo únicamente se requirió computador, brindado por la empresa u ocasionalmente por uno propio.

¹ "López Hermanos Ltda". En línea.

El tiempo especificado en el cronograma del anteproyecto fue de cuatro meses y medio pero durante el desarrollo del proyecto se vio la necesidad de rediseñar el cronograma para terminar el proyecto en 8 meses.

5.1.2.1 Software especializado ILAB El software especializado ILAB es un software en proceso de creación con el cual se pretende tener un control y seguridad más eficiente de los datos y procesos que se llevan a cabo en la empresa. Permitirá el ingreso ordenado de las variables de entrada registradas durante la etapa administrativa, de programación y ejecución del ensayo, que luego serán utilizadas mediante plantillas en EXCEL como proceso oculto de cálculo, generando un informe que cumpla con las especificaciones de la norma ISO/IEC 17025.

Por lo tanto la puesta en marcha del software agilizará el proceso y contribuirá con la trazabilidad de los ensayos llevados a cabo en la empresa.

5.2 MARCO TEORICO

Dentro de los aspectos teóricos que se tuvieron en cuenta para la realización de la pasantía se encuentran los organismos responsables de la normalización para el control de calidad en Colombia, Los requisitos brindados por la norma ISO/IEC 17025 y conceptos metrológicos que permitirán el entendimiento del tema de estimación de la incertidumbre.

5.2.1 Organismos responsables de la normalización para control de calidad de laboratorios en Colombia. En Colombia se organizó el Sistema Nacional De Normalización, Certificación y Metrología (SNNCM) en 1993 mediante el decreto 2269² (denominado Subsistema Nacional de calidad SNCA desde 2008³) el cual ha hecho que se adquiera una mayor participación y compromiso por parte del Gobierno, la industria, el comercio y los consumidores en general.

“El Subsistema Nacional de la Calidad tiene como objetivos fundamentales promover en los mercados, la seguridad, la calidad, la confianza, la productividad y la competitividad de los sectores productivo e importador de bienes y servicios, y proteger los intereses de los consumidores, en los asuntos relativos a procesos,

² Decreto 2269. 1993: 1 p.

productos y personas”³. La promoción de dichos objetivos, brinda bienestar y desarrollo, de manera que es de vital importancia, velar por una certificación bajo la normativa del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) como organismo nacional de normalización derogado en el decreto 2269.

5.2.2 NORMA ISO/IEC 17025 La norma ISO/IEC 17025 Contiene todos los requisitos que tienen que cumplir los laboratorios de ensayo y de calibración si desean demostrar que poseen un sistema de gestión, son técnicamente competentes y son capaces de generar resultados técnicamente válidos. La norma ISO/IEC 17025 fue editada en 1999 por primera vez haciendo referencia a la norma ISO 9001:1994, modificada en el año 2000, de esta manera la ISO/IEC 17025⁴ se reacomoda en el año 2005, dicha actualización es la actualmente vigente.

Dentro del contenido de la norma se encuentra en primera estancia sus objetivos y campos de aplicación, en el capítulo 2 y 3 brinda algunas referencias normativas que indican términos y definiciones utilizados en la norma. El capítulo 4 organizado en 15 subtemas establece los requisitos para una gestión sólida. En el capítulo 5 se establecen los requisitos técnicos, organizados en 10 subtemas.

A continuación se transcriben los numerales 5.4.6, 5.4.7y 5.10 de la norma ISO/IEC 17025:2005 con sus respectivos subtemas, pertinentes a la realización del proyecto para la comprensión del alcance planteado en los objetivos:

- 5.4.6 Estimación de la Incertidumbre de la medición

-5.4.6.2 Los laboratorios de ensayo deben tener y deben aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de la medición. En algunos casos la naturaleza del método de ensayo puede excluir un cálculo riguroso, metrológicamente y estadísticamente válido, de la incertidumbre de medición. En estos casos el laboratorio debe, por lo menos, tratar de identificar todos los componentes de la incertidumbre y hacer una estimación razonable, y debe asegurarse de que la forma de informar el resultado no dé una impresión equivocada de la incertidumbre. Una estimación razonable se debe basar en un

³ Decreto 3257. 2008

⁴ 17025, ISO/IEC. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración Colombia, 2005: p.: il.(no. 17025).

conocimiento del desempeño del método y en el alcance de la medición debe hacer uso, por ejemplo, de la experiencia adquirida y de los datos de validación anteriores.

- **5.4.7.1** Los cálculos y la transferencia de los datos deben estar sujetos a verificaciones adecuadas llevadas a cabo de una manera sistemática.

-**5.4.7.2** Cuando se utilicen computadoras o equipos automatizados para captar, procesar, registrar, informar, almacenar o recuperar los datos de los ensayos o de las calibraciones, el laboratorio debe asegurarse que:

a) El software desarrollado por el usuario esté documentado con el detalle suficiente y haya sido convenientemente válido, de modo que se pueda asegurar que es adecuado para el uso.

b) Se establecen e implementan procedimientos para proteger los datos; tales procedimientos deben incluir, pero no limitarse a, la integridad y la confidencialidad de la entrada o recopilación de los datos, su almacenamiento, transmisión y procesamiento.

- 5.10 Informe de los resultados

-5.10.1 Generalidades

Los resultados de cada ensayo, calibración o series de ensayos o calibraciones efectuados por el laboratorio, deben ser informados en forma exacta, clara, objetiva y sin ambigüedades, y de acuerdo con las instrucciones específicas de los métodos de ensayo o calibración.

Los resultados se deben presentar, usualmente, en un informe de ensayo o certificación de calibración (ver Nota 1) y deben incluir toda la información solicitada por el cliente y necesaria para la interpretación de los resultados del ensayo o calibración, y toda la información requerida por el método usado. Normalmente esta información es la especificada en 5.10.2 y 5.10.3 ó 5.10.4.

En el caso de ensayos o calibraciones efectuadas para clientes internos, o en el caso de un acuerdo escrito con el cliente, los resultados se pueden informar en forma simplificado. La información indicada en 5.10.2 y 5.10.4 que no se informe al cliente, debe estar fácilmente disponible en el laboratorio que efectuó los ensayos y/o calibraciones.

NOTAS

1) *A veces los informes de ensayo y los certificados de calibración, se denominan certificados de ensayo e informe de calibración, respectivamente.*

2) *Los informes de ensayo y los certificados de calibración, pueden ser emitidos en forma de copia impresa o por transferencia electrónica de datos, siempre y cuando, satisfagan los requisitos de esta norma.*

-5.10.2 Informes de ensayo y certificados de calibración

Cada informe de ensayo o certificado de calibración debe incluir normalmente a lo menos la información siguiente, salvo que el laboratorio tenga razones valederas para no hacerlo:

a) *Un título (por ejemplo, Informe de Ensayo o Certificación de Calibración).*

b) *Nombre y dirección del laboratorio y lugar donde se efectuaron los ensayos y/o calibraciones, si éste es diferente de la dirección del laboratorio.*

c) *Identificación única del informe de ensayo o certificado de calibración (por ejemplo un número de serie) y una identificación de cada página, con el objetivo de asegurar que la página sea reconocida como una parte del informe de ensayo o certificado de calibración, con una indicación clara del final del informe de ensayo o certificado de calibración.*

d) *Nombre y dirección del cliente*

e) *Identificación del método utilizado*

f) *Una descripción, condiciones e identificación inequívoca del ítem o ítems ensayados o calibrados*

g) *Fecha de recepción del (los) ítem(es) de ensayo o calibración cuando esta sea crítica para la validez y utilización de los resultados, y la(s) fecha(s) de realización del ensayo o calibración*

h) *Referencia al plan de muestreo y al procedimiento empleado por el laboratorio u otro organismo, cuando esto sea pertinente para la validez y utilización de los resultados.*

i) *Los resultados del ensayo o calibración, con las unidades de medida cuando corresponde.*

j) *Nombre(s), cargo(s) y firma(s) o una identificación equivalente de la(s) persona(s) que autoriza(n) el informe o el certificado.*

k) Cuando sea pertinente, una declaración, estableciendo que los resultados se refieren únicamente a los ítemes ensayados o calibrados.

NOTAS

1) Las copias en papel de informes de ensayo o certificados de calibración, deberían incluir el número de página y la cantidad total de páginas.

2) Se recomienda que los laboratorios incluyan una declaración especificando que el informe de ensayo o certificado de calibración no debe ser reproducido excepto a su totalidad, sin la autorización escrita del laboratorio.

-5.10.3 Informes de ensayo

5.10.3.1 *Adicionalmente a los requisitos señalados en 5.10.2, cuando sea necesario, los informes de ensayo deben incluir:*

a) Desviaciones, adiciones o exclusiones al método de ensayo y la información acerca de las condiciones específicas de ensayo tales como condiciones ambientales.

b) Cuando sea pertinente, una declaración del cumplimiento/no cumplimiento con los requisitos y/o especificaciones.

c) Cuando sea aplicable, una declaración sobre la incertidumbre de medición estimada; información sobre la incertidumbre es necesaria en los informes de ensayo cuando es relevante para la validez o aplicación de los resultados del ensayo, cuando las instrucciones de un cliente así lo requieren o cuando la incertidumbre afecta el cumplimiento con un límite de especificación.

d) Cuando sea apropiado y necesario, opiniones e interpretaciones (ver 5.10.5 Norma NTC ISO/IEC 17025).

e) Información adicional que puede ser requerida por métodos específicos, cliente o grupos de clientes;

-5.10.3.2 *Además de los requisitos indicados en 5.10.2 y 5.10.3.1, cuando sea necesario para la interpretación de los resultados del ensayo, los informes de ensayo que contienen los resultados de muestreo deben incluir:*

a) Fecha de muestreo.

- b) Identificación inequívoca de la sustancia, material o producto muestreado (incluyendo el nombre del fabricante, modelo o tipo de designación y número de serie, según sea apropiado).*
- c) Lugar de muestreo, incluyendo diagrama, croquis o fotografías.*
- d) Referencia del plan de muestreo y procedimiento utilizado;*
- e) Detalles de cualquier condición ambiental durante el muestreo, que pueda afectar la interpretación de los resultados del ensayo;*
- f) Cualquier norma u otra especificación relativa al método o procedimiento de muestreo utilizado y las desviaciones, adiciones o exclusiones respecto a la especificación correspondiente.*

- 5.10.8 Formato de informe y certificados

El formato debe ser diseñado para que se adapte a cada tipo de ensayo o calibración efectuados, y para minimizar así la posibilidad de malentendidos o mal uso.

NOTAS

- 1) Se debe poner cuidado en el formato de informe de ensayo o certificado de calibración, especialmente con respecto a la presentación de los datos del ensayo o calibración y su fácil asimilación por el lector.*
- 2) Los encabezamientos deben estar normalizados al máximo posible.*

- 5.10.9 Modificaciones a informes y certificados

Las modificaciones a un informe de ensayo o certificado de calibración después de ser emitido se deben hacer solamente en la forma de un documento o transferencia de datos posterior, que incluya la declaración:

- complemento al Informe de Ensayo (o Certificado de Calibración), número de serie... (U otra identificación alternativa);*
- una redacción equivalente.*

Dichas enmiendas deben cumplir todos los requisitos de esta norma.

Cuando sea necesario emitir un Informe de Ensayo o Certificado de Calibración completamente nuevo, éste debe llevar una identificación única y contener una referencia al documento original que reemplaza.

Lograr obtener el valor real de una magnitud en el proceso de medición está fuera del alcance humano, toda medición implica una incertidumbre⁵. La incertidumbre según el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM)⁶ se define como “el parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza”

A su vez el VIM⁶ define el mensurado como el atributo sujeto a medición de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente”. El objetivo de una medición, según la GUM⁷, es determinar el valor del mensurando, es decir, el valor de la cantidad particular a medir. Por lo tanto, la medición comienza con una especificación adecuada del mensurando, el método de medición y el procedimiento de medición.

La incertidumbre de medición son los Límites dentro de los cuales se espera que deba encontrarse el valor verdadero de lo que se está midiendo. La incertidumbre de medición es producida por varias causas, tales como:

- Método de medición.
- Errores del observador.
- Influencia de las condiciones ambientales.
- Resolución de los equipos de medición
- Exactitud de los patrones de referencia utilizados para calibración

⁵ Diaz, Jaime Dario Restrepo. Metrología. 1st edition ed: LEMOINE EDITORES SAS, 2013. 445 p. 978-958-59035-7-9.

⁶ Joint Committee for Guides in, Metrology. Vocabulario Internacional de Metrología (VIM). 3 ed2012.

⁷ Metrology-JCGM, Joint Committee for Guides in. Evaluation of measurement data- Guide to the expression of uncertainty in measurement. 100:20082008. 120 p.

- Falta de conocimiento del mensurado

Para Diaz Jaime⁵ la incertidumbre de la medición es la duda que existe a cerca del resultado de cualquier medición. En general, todos los procesos que involucren mediciones, deben realizar la medición de manera que el valor sea lo más cercano a la realidad y siempre será de gran importancia reconocer qué nivel de duda se tiene ante la medición realizada y reconocer cuantas y cuales variables pueden hacer que el resultado se aleje de la realidad. Jaime Darío Restrepo Díaz⁵ en su libro “Metrología” expone cuatro formas de calcular la incertidumbre:

- Incertidumbre de medición tipo A, μ_A : Estimación estadística, mediante desviación estándar.
- Incertidumbre de medición tipo B, μ_B : Método no estadístico, la incertidumbre se calcula a partir de otra información, como datos del fabricante, especificaciones, certificados de calibración y demás datos subjetivos.
- Incertidumbre de medición tipo C, μ_C (incertidumbre combinada): Raíz de la suma de los cuadrados de μ_A y μ_B
- Incertidumbre de medición expandida: Brinda un resultado con un alto porcentaje de seguridad, multiplicando μ_C

La Guía para estimar la incertidumbre de medición del Centro Nacional de Metrología CENAM⁸, define también la forma de estimar la incertidumbre, haciendo de cada uno de los tipos de incertidumbre mencionados anteriormente, parte del proceso, donde la incertidumbre extendida es finalmente el resultado; a continuación se presenta el diagrama para la estimación de incertidumbres de medición expuesto en la guía:

⁸ Schmid, Wolfgang A. y Lazos Martines, Ruben J. Guia para Estimar la Incertidumbre de la Medición. México: Centro Nacional de Metrología 2000).

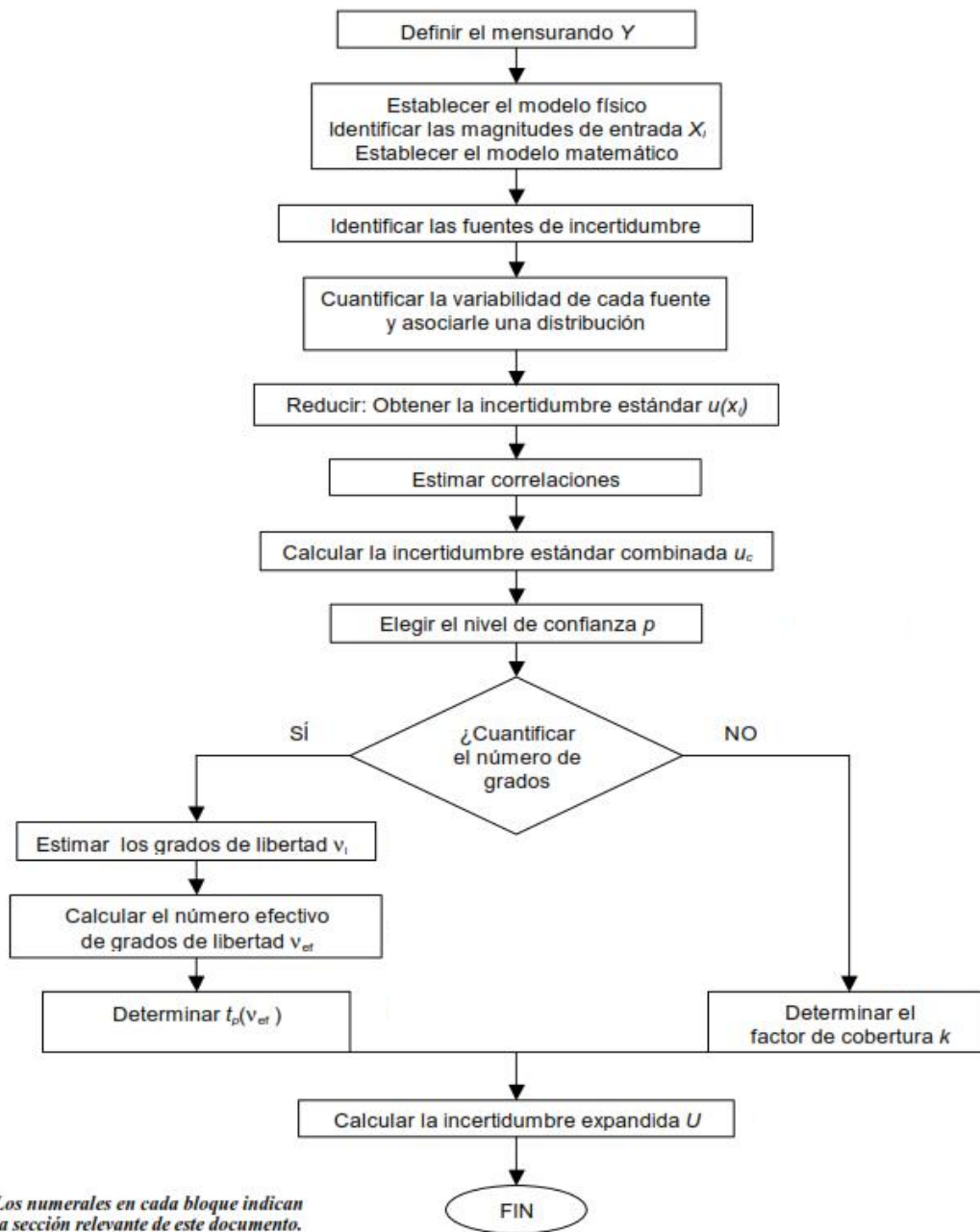


Figura 1 Diagrama para la estimación de incertidumbres de medición según guía del centro nacional de metrología⁸

⁸ Schmid, Wolfgang A. y Lazos Martines, Ruben J. Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición. México: Centro Nacional de Metrología 2000).

5.2.3 Entidades que emiten métodos para ensayos de suelos, concretos y pavimentos Usualmente los ensayos de laboratorio se deben realizar bajo condiciones ideales, manteniendo las variables estándar estipuladas en métodos emitidos por las entidades que estudian el campo correspondiente, de esta manera se logra mantener una mínima variabilidad entre laboratorios, para poder correlacionar datos y estudios llevados a cabo por distintas entidades, facilitando así el intercambio de información.

Las normas de control técnico en obras civiles son emitidas por distintas organizaciones que han dedicado varios años al estudio e investigación de una o varias áreas relacionadas con la calidad de materiales, suelos y demás. A continuación se nombran algunas de las entidades más importantes que suministran normatividad técnica de laboratorios:

5.2.3.1 Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica es una entidad sin ánimo de lucro que tiene como misión fomentar el estudio y mejoramiento de las ciencias y técnicas relativas a la Ingeniería Sísmica especialmente en relación con la investigación de los problemas nacionales. Se proyecta como entidad de consulta permanente en el área de ciencias y técnicas relativas a la Ingeniería Sísmica. Se le atribuye a la AIS la creación y actualización del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, también impulsó el desarrollo del "Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes" del año 1993 y de una actualización reciente del año 2014, el "Estudio General de Amenaza Sísmica en Colombia", manuales de "Construcción, evaluación y rehabilitación sismo resistente de viviendas de mampostería" y "Construcción Sismo resistente de viviendas en bahareque encementado" entre otras publicaciones⁹.

5.2.3.2 Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Institución a cargo de la infraestructura no concesionada de la Red Vial Colombiana de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima, de acuerdo con los lineamientos dados por el Gobierno Nacional¹⁰.

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), es un organismo multinacional que fomenta la normalización, la certificación, la metrología

⁹ "AIS-Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica". En línea. disponible en: (<https://www.asosismica.org.co/acerca-de-ais/historia/>).

¹⁰ Invias. "Misión y Visión INVIAS". En línea. disponible en: (<http://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/mision-y-vision>).

y la gestión de la calidad en Colombia, su misión es promover, desarrollar y guiar la aplicación de Normas Técnicas Colombianas (NTC) y otros documentos normativos. ICONTEC, como Organismo Nacional de Normalización (ONN) representa a Colombia ante organismos de normalización internacionales y regionales como la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), y la Comisión Panamericana de Normas de la Cuenca del Pacífico (COPANT)¹ .

5.2.3.3 American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM), ASTM International es un líder reconocido a nivel mundial en el desarrollo y suministro de normas de consenso voluntario. Hoy en día, más de 12.000 normas ASTM se utilizan en todo el mundo para mejorar la calidad del producto, mejorar la salud y la seguridad, fortalecer el acceso al mercado y el comercio, y construir la confianza del consumidor¹¹ .

5.2.3.4 American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Organismo estadounidense representante de los cinco modos de transporte: aéreo, carreteras, transporte público, del ferrocarril, y acuático. AASHTO es un líder internacional en el establecimiento de normas técnicas para todas las fases del desarrollo del sistema de carreteras, emitidas para el diseño, construcción de carreteras y puentes, materiales, y muchas otras áreas técnicas¹² .

Puntualmente las normas utilizadas en cada campo abarcado por los servicios que presta la empresa López Hermanos son:

5.2.3.5 Normatividad de suelos. La Norma Sismo Resistente NSR 10, en su título H (ESTUDIOS GEOTECNICOS), obliga la realización de estudios geotécnicos definitivos para prácticamente todo tipo de edificación y hace referencia en el numeral H.2.6 a las normas técnicas que hacen parte integral del reglamento NSR 10, en el listado se pueden observar las distintas normas NTC promulgadas por el ICONTEC , con su respectiva homologación a las normas ASTM y otras propias de

¹ "López Hermanos Ltda". En línea.

¹¹ "ASTM International". En línea. disponible en: (https://www.astm.org/ABOUT/full_overview.html)

¹² AASHTO Overview. En: [Transportation.org](https://www.transportation.org).

la ASTM, que describen la metodología a emplear para distintos ensayos necesarios en estudios de suelo¹³ .

5.2.3.6 Normatividad de concretos. Como la página de CEMEX ¹⁴ menciona, la normatividad usada para concreto en Colombia es brindada por ICONTEC-NTC para concreto tanto como para sus aditivos y a nivel mundial las normas ASTM ¹⁵ .

5.2.3.7 Normatividad de pavimentos. Los proyectos a cargo del Instituto Nacional de Vías debe realizar los ensayos según el Manual de Normas de Ensayo para Carreteras , emitido por la misma entidad, dichas normas están elaboradas por instituciones internacionales, como la ASTM, adaptadas a las necesidades del territorio Colombiano por el INVIAS¹⁶ .

Los procedimientos estandarizados para la elaboración de ensayos en pavimentos son extraídos de las normas internacionales ASTM, AASHTO y del Instituto del Asfalto

¹³ TÍTULO H-NSR 10. 2010), p. H-8

¹⁴ "Normatividad Concreto | Soluciones para el Constructor | CEMEX Colombia". En línea. disponible en: (<http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/NormatividadConcreto.aspx>).

¹⁵ "Las normas técnicas en la industria del concreto - Concreto - 360 Grados - Blog en Concreto". En línea. disponible en: (<http://blog.360gradosenconcreto.com/las-normas-tecnicas-en-la-industria-del-concreto/>).

¹⁶ INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras- Introducción Colombia 2012).

6 DISEÑO METODOLÓGICO

Existen distintas metodologías para el desarrollo de proyectos a través de software, entre ellas las más reconocidas y exitosas son la metodología Scrum y la Extreme Programming (XP) ^{17, 18}, en este proyecto se adoptó la metodología Scrum, la cual, como lo señala Vélez et al. ¹⁷ está diseñada para lograr la colaboración eficaz de equipos en proyectos, que emplea un conjunto de reglas y artefactos; y define roles que generan la estructura necesaria para su correcto funcionamiento.

Scrum utiliza un enfoque incremental que tiene como fundamento la teoría de control empírico de procesos. Esto es importante ya que el desarrollo de la pasantía dependió del trabajo sincronizado con el desarrollo del software especializado ILAB, el cual fue creado como estrategia de mejoramiento del sistema de gestión de calidad de la empresa, por lo que requirió un trabajo de prueba y error para asegurar que el trabajo llevado en la pasantía cumpliera a cabalidad con su objetivo, servir como elemento de alimentación del software para el correcto funcionamiento del mismo.

La metodología define un evento principal o sprint, que se trabaja como un proyecto independiente, en este caso el primer sprint constó de la elaboración de las primeras 10 plantillas que dieran cumplimiento a los objetivos 2 y 3 de la pasantía, con las cuales se probó por primera vez la compatibilidad con el software. De esta primera prueba se detectaron varios problemas que involucraron correcciones tanto en las plantillas ya elaboradas como en la configuración del software.

Cada sprint estuvo sujeto a cambios, que permitieron el desarrollo efectivo del proyecto, en total se realizaron cuatro sprint, tres de ellos con un avance de 10 plantillas y uno de 13 plantillas. Fue necesario hacer cambios incluso en el último sprint debido a que en cada prueba con el software surgían inconvenientes que sugerían modificaciones tanto en el software como en las plantillas de Excel.

¹⁷ Morales Vélez, Jonathan, et al. Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software. 2013

¹⁸ Grupo, ISSI. Metodologías ágiles en el desarrollo de software. 2003

Cada sprint tuvo una duración de dos semanas y contó con los siguientes elementos: reunión de planeación del Sprint, Daily Scrum, trabajo de desarrollo, revisión del Sprint y retrospectiva del Sprint.

Reunión de planeación del Sprint: para esta reunión se dispuso de dos horas, en ella se planeó qué se iba a entregar, qué modificaciones se debían hacer y cómo se lograría entregar dicho avance en el tiempo dispuesto. En la reunión se contó con la presencia del director, la codirectora y el ingeniero de sistemas encargado de la elaboración del software ILAB.

Daily Scrum: Diariamente se hizo uso de 15 minutos, para comentar inconvenientes e informar cambios, retrasos o adelantos realizados respecto a lo acordado en la reunión de planeación.

Revisión del Sprint: al final de cada sprint se realizó la revisión pertinente en un lapso de 1 hora, en este paso se entregó el producto funcional, se revisó lo que se logró, lo que no funcionó, el porqué de las fallas y cómo mejorarlas.

Retrospectiva del Sprint: su duración es de 45 minutos, en esta reunión se establecieron las mejoras para el siguiente sprint, teniendo en cuenta las falencias y beneficios de la comunicación, el proceso y las herramientas utilizadas en los sprint anteriores.

La metodología posee además subproductos llamados artefactos de scrum con el fin de brindar transparencia y dirección al proyecto. Los artefactos de Scrum son: Product Backlog, Sprint Backlog, Monitoreo de Progreso e Incremento ¹⁷.

El trabajo que se llevó a cabo sobre la estimación de la incertidumbre se trabajó de manera paralela a la elaboración de las plantillas, a medida que se avanzaba en estas, se analizó el procedimiento de los ensayos de laboratorio y se investigó a cerca de los procedimientos de estimación de la incertidumbre que recomiendan las instituciones nacionales e internacionales encargadas del estudio metrológico y/o instituciones relacionadas con el área de geotecnia, pavimentos o materiales de construcción.

A partir del análisis mencionado y con la información recolectada se procedió a la creación de la guía de estimación de la incertidumbre que se adaptara a las necesidades de la empresa.

7 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

7.1 ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Durante la pasantía se determinó el procedimiento para la estimación de la incertidumbre de la medición para los 43 ensayos (ver Tabla 1), dando cumplimiento a lo mencionado en el numeral 5.4.6.2 de la norma ISO/ IEC 17025. Para dicho objetivo se tuvo en cuenta la metodología expuesta en la Guía del Centro Nacional de Metrología (CENAM, México) ¹⁹ la cual muestra una interpretación de la referencia maestra, “Guide to the exppression of uncertainty” (GUM) ²⁰ , además de otras guías y documentos que sirvieron de complemento en el desarrollo de la siguiente guía.

A continuación se describen los pasos generales para la estimación de la incertidumbre en ensayos de geotecnia, pavimentos y materiales de construcción, además de algunas recomendaciones con el fin de servir posteriormente a la evaluación detallada de la incertidumbre de cada uno de los ensayos que se realizan en la empresa López Hermanos Ltda. Al final del capítulo se presentan algunos ejemplos para facilitar la comprensión del procedimiento expuesto y se hace referencia a un método alternativo al presentado para ensayos cuya incertidumbre se hace tediosa por el número de etapas y variables por procesar.

7.2 PASOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La estimación de la incertidumbre de la medición hace referencia a la duda que se tiene respecto a la misma. Los ensayos de laboratorio generalmente requieren más de una medición para el cálculo del mensurado propuesto, esto requiere un procedimiento un poco más complejo en el que se incluye la estimación de la

¹⁹ SCHMID, Wolfgang A. y LAZOS MARTÍNEZ , Ruben J. Guia para Estimar la Incertidumbre de la Medición. En: Centro Nacional de Metrología. Mayo 2000, no. 4, p. 27

²⁰ JCGM. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. 2008: 120 p.: il.(no. 100)

incertidumbre estándar para cada mensurado que compone el mensurado final y se combinan mediante la ley de la propagación de errores teniendo en cuenta la importancia de cada variable respecto a la incertidumbre del ensayo.

“Algunas contribuciones son inevitables por la definición del propio mensurado, mientras otras pueden depender del principio de medición, del método y procedimiento seleccionada para hacerla”²¹ .

7.2.1 Definir el mensurado Como lo mencionan Schmid y Lazos “La definición del mensurado “Y” es vital para obtener buenos resultados de la medición” ¹⁹ p. 4. Un mensurado que no se haya definido lo suficiente, ocasionará un aporte considerable al valor de la incertidumbre, ya que por ejemplo no es lo mismo medir la densidad del agregado grueso, a medir la densidad del agregado grueso considerando el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre ellas (densidad bulk). Por consiguiente si el mensurado no está bien definido hasta se terminará midiendo algo diferente a lo que se ha pedido.

La definición del mensurado será tan detallada como sea posible y como sea necesaria, de manera que el detalle del mensurado sea coherente con su aplicabilidad y las especificaciones que tenga que cumplir, ya que como se menciona en el libro de Restrepo “la definición del mensurado usualmente alude, de manera implícita, a una estimación de la incertidumbre” ²¹ .

“La especificación del mensurando requiere una declaración clara y sin ambigüedades de lo que se va a medir”²², además “la definición del mensurado puede necesitar indicaciones relativas a magnitudes tales como tiempo, temperatura y presión”²¹ , por ejemplo el mensurado puede ser definido como la densidad del agua a una temperatura de 6 °C y presión atmosférica de 100 KPa. Dichas especificaciones están acotadas para cada método en las guías de ensayos generalmente como objetivos del ensayo.

²¹ RESTREPO DÍAZ, Jaime Dario Metrología. 1st edition ed: LEMOINE EDITORES SAS, 2013. 445 p. 978-958-59035-7-9.

²² EURACHEM/CITAC. Guía: Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas Tercera Edición Inglesa, Primera Edición Española. CG 4: S L R (LGC, UK) A Williams (UK) 2012. 134 p

7.2.2 Definir el proceso de medición Tras haber definido correctamente el mensurado se procederá a definir el proceso de medición, dicho proceso deberá contener un modelo físico, que permita extraer las variables de entrada suficientes para su utilización en un modelo matemático adecuado para cada caso que se estudie.

La definición de los procesos de medición para los ensayos incluidos en el trabajo de la pasantía ya están establecidos para el laboratorio de López Hermanos por los métodos expuestos en las normas colombianas INVIAS y NTC o normas internacionales como la ASTM y la AASTHO. Las cuales brindan un buen nivel de confianza y cuentan con datos estadísticos con los que se pueda validar la incertidumbre brindada por el método.

Sin embargo habrá ocasiones en el que el proceso de medición deba ser modificado, para esto se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se debe establecer el principio de medición, el cual permitirá tomar decisiones pertinentes en la modificación o creación de un procedimiento de medición acertado de acuerdo a la tolerancia requerida por el cliente.
- Una vez establecido el principio por el cual está regido el fenómeno a estudiar se puede definir el método de ensayo o de medición, el cual deberá estar claramente definido por un procedimiento que incluirá un modelo físico regido por dicho principio científico, el modelo físico contendrá unas suposiciones sobre el mensurado y las variables aleatorias que se relacionarán a través de un modelo matemático con las aproximaciones inherentes a la representación física imperfecta.

El principio, método y procedimiento de medición tienen una contribución importante en la incertidumbre del ensayo, por esta razón se recomienda hacer un diagrama de flujo que muestre las etapas del proceso de medición del mensurado con el fin de identificar la sucesión de las actividades en el proceso asociándolas con las variables aleatorias que intervienen en él y los equipos que se utilizaron en su medición, así se podrá identificar también la incertidumbre heredada del equipo.

En el modelo matemático se deben identificar las variables aleatorias y definir las variables independientes como una función de la variable dependiente o mensurado, dentro de esta función se incluirán las correcciones por errores sistemáticos.

7.2.3 Identificar y analizar las fuentes de incertidumbre

Con ayuda del diagrama realizado en el paso anterior se identifican las fuentes de incertidumbre asociadas a cada una de las variables del método de ensayo, proporcionando un diagrama en el cual se jerarquice las fuentes más influyentes

hasta llegar a las menos influyentes, a partir de esta clasificación se podrá hacer una inclusión representativa en la función, de las variables que no se incluyen en ella pero que aportan significativamente en la incertidumbre del método.

Se dejarán establecidas claramente las fuentes que deben ser consideradas en el análisis de la incertidumbre. Dentro de la estimación de un mensurado se pueden identificar las siguientes fuentes de incertidumbre:

- Resultados de calibración del instrumento
- Incertidumbre del patrón o material de referencia (incertidumbre heredada o importada)
- Repetibilidad de las lecturas
- Reproducibilidad de mediciones por cambio de observadores, instrumentos, lugar, etc.
- Características el propio instrumento (resolución, histéresis, derivada, etc.)
- Condiciones ambientales
- Definición del propio mensurado
- Modelo particular de la medición
- Variaciones en las magnitudes de influencia

7.2.4 Estimar la incertidumbre asociada a cada componente

En este paso se cuantifica la incertidumbre de cada componente de la incertidumbre, “cada una de las contribuciones separadas a la incertidumbre es un componente de la incertidumbre”²². A través de las fuentes identificadas en el paso anterior, se reagrupan de acuerdo a parámetros en común para simplificar la cantidad de fuentes por analizar, por ejemplo las mediciones cuya fuente principal de incertidumbre es la ofrecida por la misma balanza. Se le atribuye a cada fuente un tipo de distribución estadística y se procede a estimar la incertidumbre para cada fuente o agrupación de fuentes a través de alguno de los siguientes métodos, según corresponda.

7.2.4.1 Evaluación de la incertidumbre de la medición tipo A (incertidumbre tipo A) Como lo señala Rodríguez²¹, este tipo de evaluación se usa generalmente a partir de lecturas repetidas, está relacionada a fuentes de error aleatorias y se estima mediante procedimientos estadísticos. Aunque no existe una

²² EURACHEM/CITAC. Guía: Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas Tercera Edición Inglesa, Primera Edición Española. CG 4: S L R (LGC, UK) A Wiliams (UK) 2012. 134 p

²¹ RESTREPO DÍAZ, Jaime Dario Metrología. 1st edition ed: LEMOINE EDITORES SAS, 2013. 445 p. 978-958-59035-7-9

recomendación general para el número de repeticiones de medición que se deban realizar para la estimación de la incertidumbre tipo A, particularmente se opta por hacer 10 repeticiones de medición para la serie evaluada o según la meta de incertidumbre propuesta, teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en la guía de Schmid y Lazos en la sección 6.1 ¹⁹.

Siendo el mejor estimado x_i de los resultados de la medición, $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, que conforman el conjunto de magnitudes de entrada X_i , se tiene que:

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

Donde:

n , es el número de datos

\bar{q} =mejor estimado, determinado mediante la media aritmética

Se determina entonces la desviación estándar experimental para conocer la dispersión de los resultados con la siguiente expresión estadística:

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

Finalmente la incertidumbre estándar se obtiene mediante la desviación estándar experimental de la media:

$$u(x_i) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

¹⁹ SCHMID, Wolfgang A. y LAZOS MARTÍNEZ, Ruben J. Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición. En: Centro Nacional de Metrología. Mayo 2000, no. 4, p. 27.

Por lo tanto $u(x_i)$ queda definida por la siguiente expresión:

$$u(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2} \quad (4)$$

“Otras fuentes de incertidumbre que se evalúan con este método son a reproducibilidad y las obtenidas al hacer una regresión lineal” ¹⁹

7.2.4.2 Evaluación de la incertidumbre de la medición tipo B (Incertidumbre tipo B) La incertidumbre tipo B se evalúa a partir de fuentes asociadas a errores sistemáticos como características del equipo utilizado, brindadas por el fabricante, calibraciones u otro tipo de información adicional extraída de fuentes externas o aseveraciones justificadas por la experiencia. Algunas de estas fuentes de información según Schmid y Lazos ¹⁹ son:

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

7.2.5 Estandarizar la incertidumbre original

Los datos de entrada con los que se estima la Incertidumbre Tipo A obedecen a una distribución normal y su resultado a partir de la ecuación (4) ya son una incertidumbre estándar, sin embargo no es posible combinar incertidumbres con distintas distribuciones cuyos niveles de confianza no coinciden, de manera que se debe estandarizar. Para datos que varían según una distribución triangular o una distribución rectangular se procede como Schmid y Lazos ¹⁹ lo indican:

¹⁹ SCHMID, Wolfgang A. y LAZOS MARTÍNEZ, Ruben J. Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición. En: Centro Nacional de Metrología. Mayo 2000, no. 4, p. 27.

7.2.5.1 Distribución normal En ocasiones se obtienen incertidumbres Tipo B, como la incertidumbre brindada por certificados de calibración, las cuales han sido estimadas mediante resultados de mediciones repetidas y son ya expresadas como incertidumbre expandida U . Para brindar este tipo de incertidumbres como incertidumbre estándar debe ser dividida por el factor de cobertura k , correspondiente al nivel de confianza con el que se expresa dicha incertidumbre, así:

$$u(xi) = \frac{U}{k} \quad (5)$$

7.2.5.2 Distribución rectangular El mejor estimado xi del conjunto de datos con distribución triangular está dado por:

$$xi = \frac{a_+ + a_-}{2} \quad (6)$$

Donde, a_+ y a_- es el límite superior e inferior, respectivamente, de la función de densidad de probabilidad.

Siendo a el intervalo entre a_+ y a_- , la incertidumbre estándar para este tipo de distribución está dada por:

$$u(xi) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{12}} = \frac{a/2}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

La incertidumbre aportada por la resolución de un equipo tiene este tipo de distribución, donde cualquier valor dentro del rango a tiene la misma probabilidad de ser el valor verdadero. “También la incertidumbre relacionada con el número finito de cifras significativas de datos tomados de la literatura puede ser tratada con esta distribución”¹⁹

¹⁹ SCHMID, Wolfgang A. y LAZOS MARTÍNEZ, Ruben J. Guia para Estimar la Incertidumbre de la Medición. En: Centro Nacional de Metrología. Mayo 2000, no. 4, p. 27.

7.2.5.3 Distribución triangular Al igual que para la distribución rectangular, el mejor estimado x_i del conjunto de datos con distribución triangular está dado por:

$$x_i = \frac{a_+ + a_-}{2} \quad (8)$$

La incertidumbre estándar para este tipo de distribución está dada por:

$$u(x_i) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{24}} = \frac{a/2}{\sqrt{6}} \quad (9)$$

7.2.6 Calcular la incertidumbre combinada, $u_c(y)$. Ya estandarizadas todas las fuentes de incertidumbre, se procede a combinar dichas contribuciones teniendo en cuenta la ley de propagación de los errores y la influencia de cada variable sobre el mensurado mediante la multiplicación de cada incertidumbre por su coeficiente o factor de sensibilidad c_i .

La ley de propagación de errores hace referencia al tipo de operación en el que se encuentran relacionadas las variables dentro del modelo matemático; así por ejemplo si el mensurado Y es calculado mediante la suma de tres variables, a , b , c , su incertidumbre se estimará mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las incertidumbres de cada una de las variables:

$$u_c(y) = \sqrt{u_a^2 + u_b^2 + u_c^2}$$

Igualmente para la estimación de la incertidumbre de un mensurado que resulte de productos, divisiones y/o exponentes se recurre al debido procedimiento según esta ley, como se ejemplifica en el documento de Garmash²², la incertidumbre estándar combinada en síntesis es “la raíz cuadrada de una suma de términos, siendo los términos las varianzas o covarianzas de estas magnitudes ponderadas de acuerdo con la variación de los resultados de medida de cada magnitud”²⁰

²² EURACHEM/CITAC. Guía: Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas Tercera Edición Inglesa, Primera Edición Española. CG 4: S L R (LGC, UK) A Williams (UK) 2012. 134 p.

²⁰ JCGM. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. 2008: 120 p.: il.(no. 100).

Cada una de las variables de entrada, fuentes de incertidumbre, causa una variación mayor o menor que otras respecto al mensurado, dicha sensibilidad se expresa mediante la ponderación de cada incertidumbre con su coeficiente de sensibilidad, el cual puede ser determinado como se indica en la guía del CENAN de Schmid y Lazos ¹⁹ Así la ecuación general de la incertidumbre combinada viene dada por la siguiente expresión matemática:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 \cdot u^2(x_i)} \quad (10)$$

Donde $u(x_i)$ es la incertidumbre de cada fuente de incertidumbre x_i y c_i^* es el coeficiente de sensibilidad evaluado como la derivada parcial del mensurado "y" respecto a x_i .

Para la ley de propagación de incertidumbre queda expresada así:

“Si hay una correlación entre algunos de los componentes entonces esto tiene que tenerse en cuenta mediante la determinación de la covarianza”²² . Por lo tanto la ley de propagación de la incertidumbre para mensurados donde las magnitudes de entrada están correlacionadas, la expresión (10) quedaría así:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 \cdot u^2(x_i) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N c_i \cdot c_j \cdot u(x_i) \cdot u(x_j) \cdot r(X_i, X_j)} \quad (11)$$

¹⁹ SCHMID, Wolfgang A. y LAZOS MARTÍNEZ , Ruben J. Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición. En: Centro Nacional de Metrología. Mayo 2000, no. 4, p. 27.

²² EURACHEM/CITAC. Guía: Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas Tercera Edición Inglesa, Primera Edición Española. CG 4: S L R (LGC, UK) A Williams (UK) 2012. 134 p.

Donde:

- y , es el mensurado función de las magnitudes de entrada
- c_i y c_j , son los coeficientes de sensibilidad que ponderan la incertidumbre de cada fuente x_i y x_j respectivamente
- $u(x_i)$ y $u(x_j)$ incertidumbre de la fuente x_i y x_j respectivamente
- $r(X_i, X_j)$, es el factor de correlación entre las magnitudes de entrada X_i y X_j

“Los coeficientes de sensibilidad también pueden ser evaluados directamente de manera experimental; estos es particularmente útil donde no existe una descripción matemática fiable de la relación”²².

El factor de correlación indica la independencia lineal entre dos variables y estadísticamente se puede calcular como el cociente de la covarianza de las incertidumbres estándar de las variables entre las incertidumbres estándar de las variables aludidas.

$$r(X_i, X_j) = \frac{u(X_i, X_j)}{u(x_i) \cdot u(x_j)} \quad (12)$$

Por lo tanto la ecuación (11) se puede simplificar así:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 \cdot u^2(x_i) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N c_i \cdot c_j \cdot u(X_i, X_j)} \quad (13)$$

La covarianza $u(X_i, X_j)$ se puede calcular a su vez, a partir los conjuntos de n valores X_i y X_j tomados para el cálculo del mejor estimado x_i y x_j de las variables q y w respectivamente, así:

$$u(X_i, X_j) = \frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - x_i) \cdot (X_j - x_j) \quad (14)$$

7.2.6.1 Cálculo de incertidumbre relativa

Para un modelo matemático descrito por el producto, división y/o potencia de sus magnitudes de entrada, $f(X_1, \dots, X_N) = C \cdot \prod_{i=1}^N (X_i)^m$, se facilita su cálculo mediante el cálculo de la incertidumbre relativa; así la expresión de la incertidumbre combinada (13) se reduce de la siguiente manera:

$$u_{c\ rel}(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[m \cdot \frac{u(xi)}{xi} \right]^2} \quad (15)$$

Donde

$u_{c\ rel}(y)$, incertidumbre relativa de la función $f(X_1, \dots, X_N)$

m , exponente

$\frac{u(xi)}{xi}$, relación de la incertidumbre de la variable xi respecto al valor de la variable xi

Para productos de potencias diferentes $y = X_1^m \cdot X_2^n \cdot X_3^p$

$$u_{c\ rel}(y) = \sqrt{\left(m \cdot \frac{u(x_1)}{x_1} \right)^2 \cdot \left(n \cdot \frac{u(x_2)}{x_2} \right)^2 \cdot \left(p \cdot \frac{u(x_3)}{x_3} \right)^2} \quad (16)$$

7.2.7 Calcular incertidumbre expandida, U

Como se indica en el documento de Delgado ²³, el valor de la incertidumbre combinada está expresada en un nivel de confianza de 68 % dado por la desviación normal de la función de distribución del mensurado, para aumentar dicho nivel de confianza la incertidumbre normal combinada, $u_c(y)$, se multiplica por el factor de cobertura, k , dando lugar a la incertidumbre expandida U el cual indica “ un intervalo que representa una fracción p de los valores que puede probablemente tomar el

²³ EURACHEM/CITAC. Guía: Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas Tercera Edición Inglesa, Primera Edición Española. CG 4: S L R (LGC, UK) A Williams (UK) 2012. 134 p.

medido. El valor p es llamado el nivel de confianza y puede ser elegido a conveniencia”¹⁹.

$$U(y) = u_c(y) \cdot k \quad (17)$$

El factor de cobertura k , puede ser determinado mediante la distribución t de Student, y el número efectivo de grados de libertad que considera el número de grados de libertad de cada fuente de incertidumbre como lo indica Schmid y Lazos¹⁹. O en casos menos rigurosos, puede corresponder al número entero de desviaciones estándar en la distribución normal, como Restrepo²¹ lo indica:

$k = 1$, corresponde a $p = 68,27 \%$

$k = 2$, corresponde a $p = 95,45 \%$

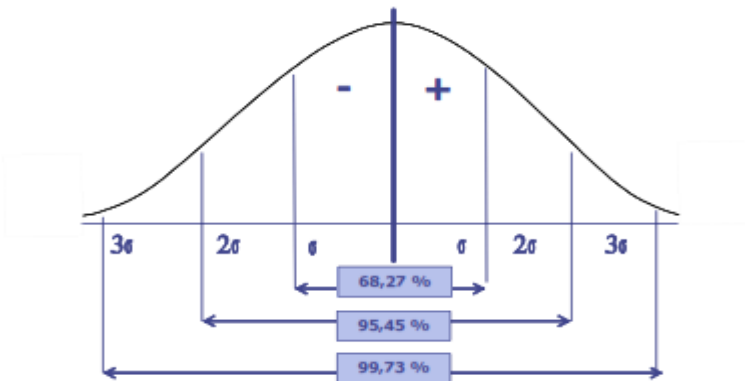
$k = 3$, corresponde a $p = 99,7 \%$

“Internacionalmente se utiliza el valor $k = 2$ como práctica estándar para un nivel de confianza aproximado de $95,5 \%$ ”²¹. Por lo tanto se recomienda utilizar dicho valor de factor de cobertura con el fin de simplificar el procedimiento de la estimación de incertidumbre siempre y cuando los rangos de tolerancia exigidos por los métodos o los clientes no sean tan estrechos tal que requiriesen una estimación rigurosa del factor de cobertura relacionada a los grados de libertad.

¹⁹ SCHMID, Wolfgang A. y LAZOS MARTÍNEZ, Ruben J. Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición. En: Centro Nacional de Metrología. Mayo 2000, no. 4, p. 27.

²¹ RESTREPO DÍAZ, Jaime Darío Metrología. 1st edition ed: LEMOINE EDITORES SAS, 2013. 445 p. 978-958-59035-7-9.

Figura 2. Distribucion normal



Fuente: Delgado *et al.*, Estimación de la Incertidumbre en métodos de ensayos de construcción, p. 27

7.2.8 Reportar resultados Como la norma ISO/IEC 17025 ²⁴ lo exige, los resultados deben ser claros y organizados, con toda la información requerida por el cliente y necesaria para su interpretación, sin dar lugar a ambigüedades. Para dar cumplimiento a esto, se recomienda entregar los resultados de la estimación de incertidumbre como se indica a continuación.

La estimación de la incertidumbre se debe mostrar paso a paso, es conveniente brindar una información detallada para facilitar su interpretación y seguimiento. Además los resultados se deben resumir en la Tabla 2.

²⁴ ISO/CASCO. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración 2005: 29 p.: il.(no. ISO/IEC 17025: 2005 (ES)).

Tabla 2. Resumen estimación de la incertidumbre

Componentes de la incertidumbre estándar $u(x_i)$	Fuente de incertidumbre	Tipo de incertidumbre, Tipo de distribución	Valor estimado x_i	Fuente de información	Incertidumbre estándar	Incertidumbre relativa	Coficiente de sensibilidad c_i
$u(1)$	Descripción textual de la fuente de incertidumbre que refiere cada componente	A, normal	Valor del mejor estimado de X_i con sus respectivas unidades	información como certificado de calibración, mediciones repetidas, etc.	Valor de incertidumbres $u(x_i)$ con sus respectivas unidades	Valores de las incertidumbres relativas	c_1
$u(1a)$		B, rectangular					c_{1a}
$u(2)$		A, triangular					c_2
$u(2a)$.					c_{2a}
$u(N)$.					c_N
$u(Na)$.					c_{Na}
					$u(y) =$		
					$k =$		
					$U(y) =$		

Fuente: El autor

7.3 EJEMPLO DE ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

A continuación se ejemplifica el procedimiento expuesto en la sección anterior, estimando la incertidumbre de la determinación de la proporción de agua en una muestra de suelo, respecto al peso de la masa sólida del mismo, mediante el método utilizado en el laboratorio López Hermanos Ltda., Humedad Natural expuesto en la guía INV E- 122- 2013.

7.3.1 Definir el mensurado

Mensurado: contenido de agua (humedad), por masa, de suelo a masa constante, mediante el método A descrito en la norma 122 del Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras 2013 del INVIAS, de una muestra con tamaño máximo de partícula pasante tamiz #4, a una profundidad menor a la del nivel freático, sin material orgánico.

A continuación se especifican los términos aplicables al método descrito en INV E-122 2013 ²⁵ para la estimación del mensurado:

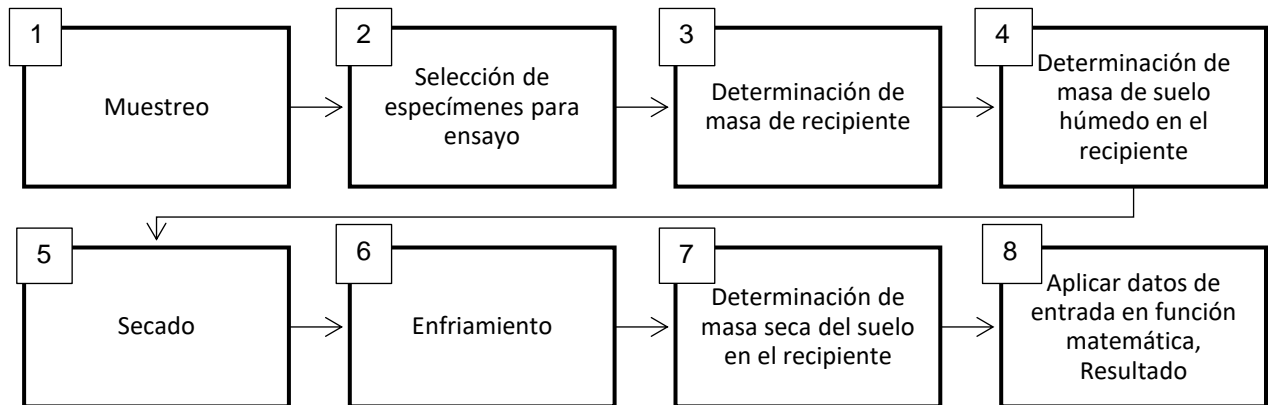
Contenido de agua por masa es la relación expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros (agua libre) del suelo y la masa de las partículas sólidas de éste. Para la determinación de la masa del agua se debe usar una temperatura de referencia de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Masa seca constante es el estado que alcanza un material cuando un calentamiento posterior produce una pérdida adicional de masa menor de 1% para el caso de aplicar el método A. El tiempo requerido para alcanzar masa constante depende de numerosos factores, cuya influencia se puede establecer a partir del buen juicio del operario y de la experiencia que tenga con el equipo utilizado y el material que se ensaya.

7.3.2 Definir el proceso de medición. El proceso de medición está descrito en la norma del INVIAS INV E-122-2013, las etapas del proceso se describen mediante el siguiente diagrama:

²⁵ INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras- sección 100. Colombia 2012. 798 p.

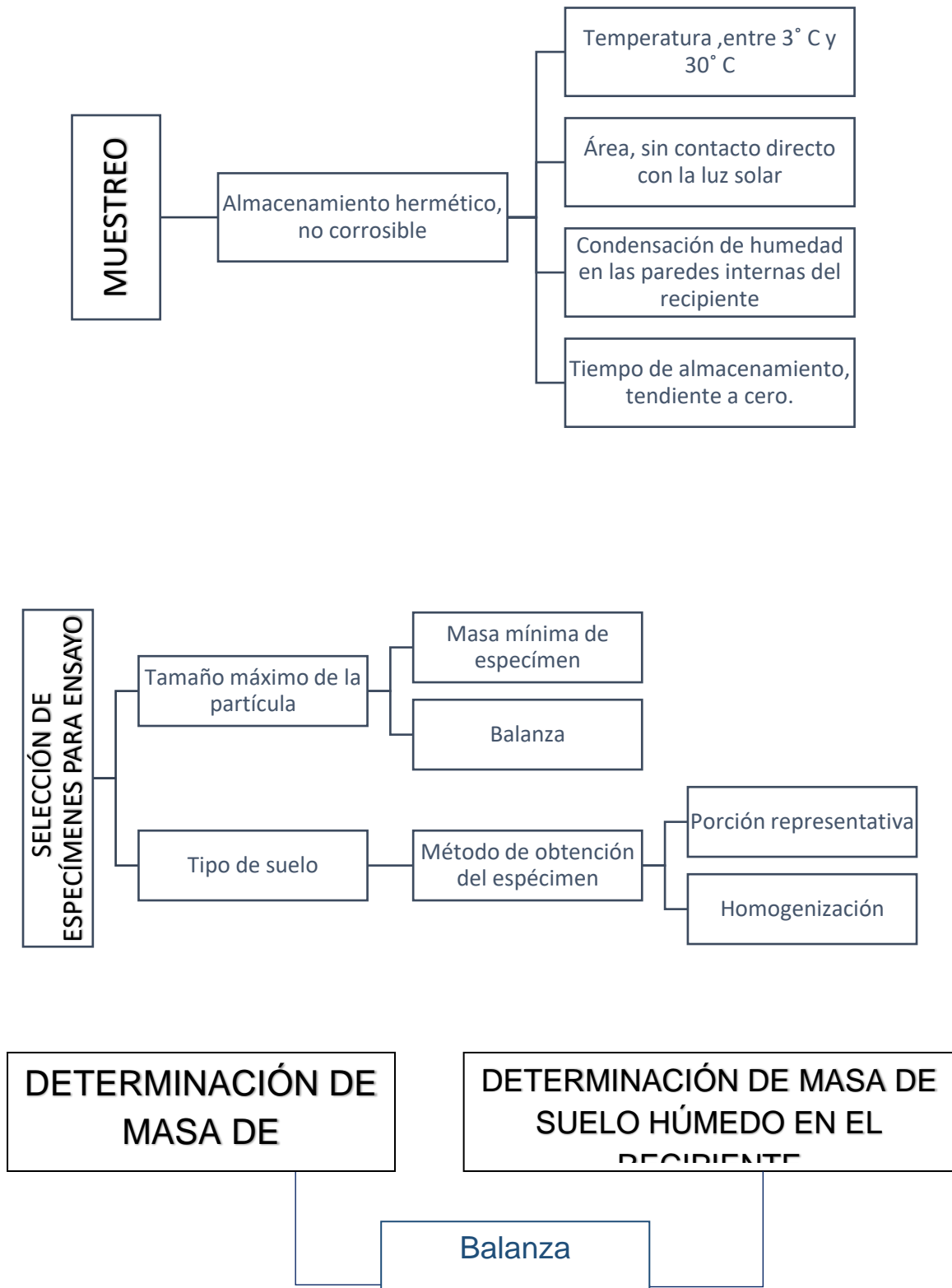
Figura 3. Etapas del proceso de Humedad Natural



Fuente: El autor

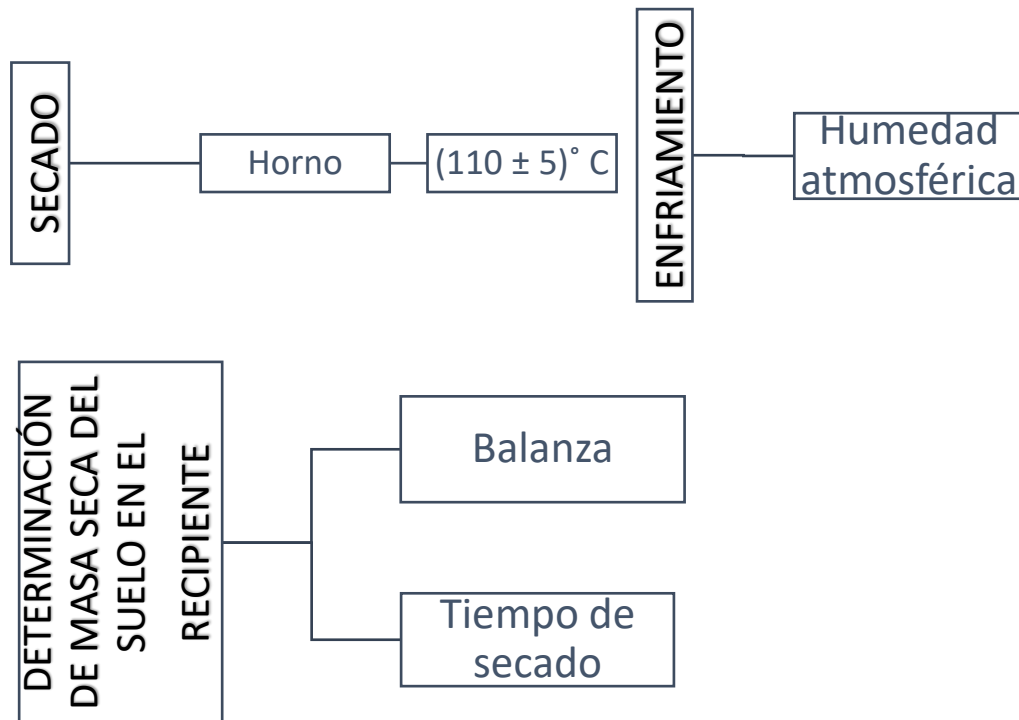
En cada una de las etapas surgen variables que aportarán a la incertidumbre del mensurado en la medida que se controlen, a continuación se detallan dichas variables para cada etapa del proceso de medición de humedad natural:

Figura 4. Variables de cada etapa del proceso de humedad



Fuente: El autor

Figura 4. Variables de cada etapa del proceso de humedad



Fuente: El autor

Con el desarrollo del procedimiento descrito en los pasos 1 al 7 se extraen las variables de entrada necesarias para el cálculo del valor del mensurado, mediante la relación de la humedad natural en función de las masas del espécimen de suelo antes y después del secado. La relación brindada por la norma expresa la humedad natural como una proporción de la masa de agua contenida en el espécimen respecto a la masa seca del mismo, así:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \cdot 100 = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

Donde:

w : Contenido de agua, %;

W_1 : Masa del recipiente con el espécimen húmedo, g;

W_2 : Masa del recipiente con el espécimen seco, g;

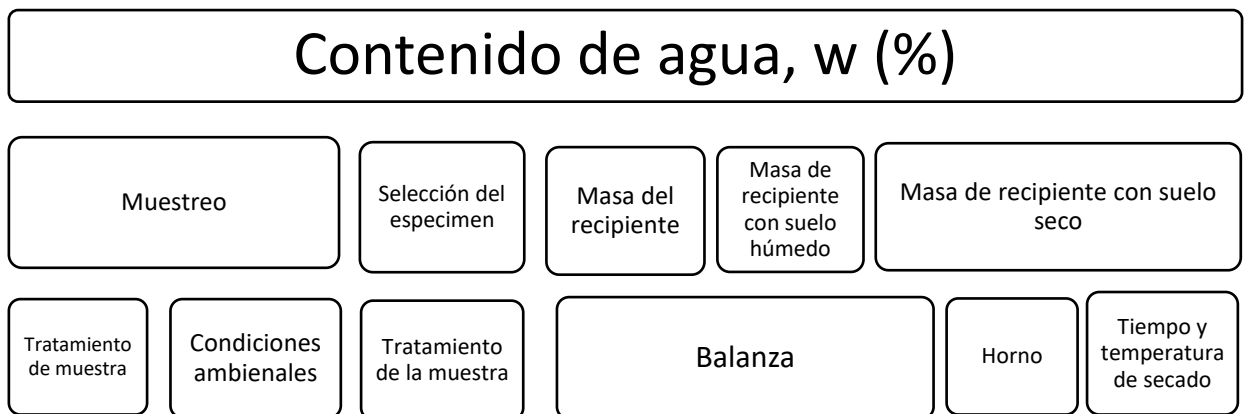
W_c : Masa del recipiente, g;

W_w : Masa del agua, g;

W_s : Masa de las partículas sólidas, g.

7.3.3 Identificar y analizar las fuentes de incertidumbre. De la información anterior se extraen las fuentes de incertidumbre y se organiza en un diagrama causa efecto u otro equivalente, así las variables que proporcionan un valor a la incertidumbre del mensurado, y que no se incluyen en la ecuación de cálculo del mensurado, podrán incluirse dentro de la función de humedad natural para su posterior inclusión en la ecuación de incertidumbre.

Figura 5. Diagrama de fuentes de incertidumbre en el ensayo de humedad natural



Fuente: El autor

La determinación del contenido de agua depende del muestreo debido a que puede haber pérdida o aumento de humedad en la muestra del suelo según el manejo de la muestra y las condiciones ambientales, un almacenamiento ideal es difícil de lograr, sobre todo en ciudades con temperaturas elevadas y retiradas del laboratorio donde es imposible realizar el ensayo de humedad inmediatamente, sin embargo para el ejemplo se obviarán los efectos de las condiciones ambientales suponiendo un control estricto de la temperatura, área, recipientes y tiempo de almacenamiento. La incertidumbre de la etapa de muestreo será representada entonces con el factor de tratamiento junto con la

etapa de selección del espécimen donde la muestra sufre cambios de humedad en la medida que no se controlen los aspectos relativos a cada una de ellas.

En la selección del espécimen se tiene una exigencia de capacidad de lectura en la balanza según el tamaño máximo de la partícula de la muestra a ensayar, entre más pequeño sea el tamaño máximo de la partícula, más pequeña puede ser la muestra mínima de ensayo, por lo tanto mayor debe ser la precisión. Para la verificación de la masa mínima de la muestra se utiliza una balanza con precisión de 0,01 g según el tamaño máximo de las partículas del suelo que por lo general se define por inspección visual, sin embargo el tamaño de la partícula y por ende la precisión de la balanza para la medición de la masa mínima no se tienen en cuenta en el análisis de la incertidumbre debido a que la diferenciación de tamaño de partícula de suelo fácilmente se hace inequívocamente para los rangos dados por la norma, en cambio sí se toma en cuenta el tratamiento que se le da a la muestra de suelo en la selección del espécimen mediante el método de obtención más apropiado para el tipo de suelo.

Las variables que determinan el valor del mensurado, según el modelo matemático brindado por la norma, son las masas del recipiente con el suelo antes y después del secado, la veracidad de dichas masas son dependientes puramente de la calibración y precisión de la balanza con la que se está trabajando, que debe ser la misma para todo el ensayo. La masa seca del espécimen en el recipiente está afectada además por el concepto del operario al momento de decidir el tiempo de secado para la muestra y por el contenido de material orgánico, soluble en el agua u otros componentes como el yeso, que sugieran cambiar temperatura de secado, para obtener un valor de humedad más exacto.

El horno que se debe utilizar debe tener una lectura de temperatura con una tolerancia de $\pm 5^{\circ}$ C, la incertidumbre brindada por el horno se tomará del reporte de calibración del equipo.

En la etapa de enfriamiento, la humedad atmosférica puede afectar el contenido de humedad del espécimen, en Tunja por ejemplo según el IDEAM ^{26*} la humedad relativa de la ciudad es mayor a 75%, Restrepo ²¹ indica que las condiciones ambientales en laboratorios de nivel 2 para la medición de masas debe tener una temperatura de 23^o C y una humedad relativa de 20% a 55%, por lo tanto puede generar un aporte significativo a la incertidumbre del resultado si

²⁶ IDEAM. CARÁCTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS TURÍSTICOS.

²¹ RESTREPO DÍAZ, Jaime Dario Metrología. 1st edition ed: LEMOINE EDITORES SAS, 2013. 445 p. 978-958-59035-7-9.

dicha humedad no se controla mediante acondicionamiento ambiental o un enfriamiento en desecador. El laboratorio López Hermanos en su proceso de acreditación controlará dichos parámetros ambientales por lo tanto se obviará la incertidumbre por dicho parámetro.

Por lo tanto la función del mensurado puede ser modificada de la siguiente manera, a fin de incluir los aspectos de influencia en el análisis de la incertidumbre del mensurado:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \cdot 100 + F_B + F_T + F_{ts} + F_h$$

Donde:

F_{ts} : Factor de corrección por fuente de incertidumbre del tiempo y temperatura de secado;

F_h : Factor de corrección por fuente de incertidumbre del horno;

F_B : Factor de corrección por fuente de incertidumbre de la balanza;

F_T : Factor de corrección por fuente de incertidumbre del tratamiento en el muestreo y selección de espécimen de ensayo;

Nota: La incertidumbre por los factores de tratamiento del suelo (F_T) y por tiempo y temperatura de secado (F_{ts}) pueden reemplazarse por la repetibilidad y reproducibilidad del método brindada por la norma, ya que son datos de fuentes de información más confiables, sin embargo en este caso se toman dichos factores con el fin de ejemplificar el caso de no contar con información de la norma.

7.3.4 Estimar la incertidumbre asociada a cada componente y estandarizarla. En la tabla 3 se expone la distribución que sigue cada fuente de incertidumbre, el tipo de evaluación de incertidumbre a utilizar y el método para determinarla.

Tabla 3. Tipologías de las fuentes de incertidumbre para ensayo de Humedad Natural

Fuente de incertidumbre	Distribución, Tipo de incertidumbre	Método de determinación
Masa del recipiente, W_c Masa húmeda y seca del espécimen en el recipiente, W_1 y W_2	Normal, tipo A	Desviación estándar de 3 muestras, 3 repeticiones
Factor tratamiento en muestreo y selección de espécimen de ensayo	Rectangular, tipo B o normal, tipo A	Criterio de experto o mediante desviación estándar bajo condiciones de reproducibilidad
Factor tiempo y temperatura de secado	Rectangular, tipo B o normal, tipo A	Criterio de experto o mediante desviación estándar bajo condiciones de reproducibilidad
Factor Balanza Calibración Resolución	Estándar, Tipo B Rectangular, Tipo B	Reporte de calibración Dígitos de lectura de masa
Factor Horno Calibración	Estándar, Tipo B	Reporte de calibración

Fuente: El autor

7.3.4.1 Incertidumbre asociada a la medición de masas. Para estimar la incertidumbre que se tiene respecto a las medidas de las masas necesarias para el ensayo, se procede a hallar la desviación estándar de los 9 datos recolectados para cada masa W_c , W_1 y W_2 . La tabla 4 muestra la estimación de la incertidumbre brindada por la medición de las masas:

Tabla 4. Incertidumbre de la medición de masas

Espécimen	Wc (g)	W1 (g)	W2 (g)
1	8,83	77,30	68,62
1	8,78	77,21	68,60
1	8,81	77,28	68,58
S1	0,02517	0,04726	0,02000
u	0,01453	0,02728	0,01155
2	7,37	75,88	67,33
2	7,38	75,83	67,51
2	7,37	75,81	67,38
S2	0,00577	0,03606	0,09292
u	0,00333	0,02082	0,05364
3	5,98	72,26	63,82
3	5,99	72,32	63,75
3	5,95	72,22	63,71
S3	0,02082	0,05033	0,05568
u	0,01202	0,02906	0,03215

u(Wc)	u(W1)	u(W2)
0,01915	0,04497	0,06360

A continuación se especifica el cálculo de la incertidumbre para la masa del recipiente W_c , se procedió igual para la incertidumbre de las masas secas y húmedas en el recipiente.

Primero se averigua el mejor estimado de la masa del recipiente 1, mediante el promedio de los datos como se indica en la expresión (1), después se toma la ecuación (2) para el cálculo de la desviación estándar de la medición de la masa del recipiente 1, $s_1(W_c)$:

$$x_i = \frac{8,83 + 8,78 + 8,81}{3} = 8,807 \text{ g}$$

$$s_1(W_c) = \sqrt{\frac{1}{3-1} * (8,83 - 8,807)^2 + (8,78 - 8,807)^2 + (8,81 - 8,807)^2}$$

$$s1(Wc) = 0,02517 \text{ g}$$

Luego mediante la aplicación de la ecuación (3) se halla la incertidumbre generada por la medición del recipiente 1:

$$u(W_{c1}) = \frac{0,02517}{\sqrt{3}}$$

$$u(W_{c1}) = 0,01453 \text{ g}$$

De la misma forma se calcula la desviación estándar para el recipiente 2, $s2(Wc)$, y recipiente 3, $s3(Wc)$.

$$s1(Wc) = 0,02517 \text{ g}, s2(Wc) = 0,00577 \text{ g}, s3(Wc) = 0,02082 \text{ g}$$

$$u(W_{c1}) = 0,01453 \text{ g}, u(W_{c2}) = 0,00333 \text{ g}, u(W_{c3}) = 0,01202 \text{ g},$$

Para combinar el efecto de las tres incertidumbres calculadas, se utiliza la ley de propagación de errores, así:

$$u(Wc) = \sqrt{u(W_{c1})^2 + u(W_{c2})^2 + u(W_{c3})^2}$$

$$u(Wc) = \sqrt{0,01453^2 + 0,00333^2 + 0,01202^2}$$

$$u(Wc) = \pm 0,01915 \text{ g}$$

7.3.4.2 Incertidumbre asociada al tratamiento en muestreo y selección de espécimen de ensayo, F_T . El tratamiento que se le dé al material de estudio en la etapa de muestreo y de selección del espécimen es determinante en la exactitud del ensayo, debido a que puede haber cambio significativo de humedad, de acuerdo al control que se le dé a estas dos etapas el operario experto puede definir un rango de incertidumbre brindado por dicho factor.

Si la humedad pudo haber aumentado o disminuido hasta en un 0,1 g respecto a la humedad original debido al tratamiento del suelo en el muestreo y selección de especímenes de ensayo, la incertidumbre puede evaluarse mediante una distribución rectangular mediante la ecuación (7):

$$u(xi) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{12}} = \frac{a/2}{\sqrt{3}}$$

Donde el intervalo $a_+ - a_-$, es dos veces la variación 0,1:

$$u(F_T) = \frac{2 \cdot 0,1}{\sqrt{12}} = 0,0577 \text{ g}$$

7.3.4.3 Incertidumbre asociada al tiempo y temperatura de secado, F_{ts} . Para este factor como en el anterior, la incertidumbre puede ser determinada mediante la apreciación del experto o mediante desviación estándar bajo condiciones de reproducibilidad. Dado a que en la anterior estimación se dio una valoración de la incertidumbre a partir del operador, para el factor de tiempo y temperatura de secado se hará mediante la desviación estándar bajo condiciones de reproducibilidad con el fin de ejemplificar ambos casos, sin embargo se intuye que la estimación de la incertidumbre a partir de positivos es más confiable.

La recolección de datos en condiciones de reproducibilidad, según Restrepo ²¹ se refiere a la toma de datos mediante la variación de los siguientes aspectos: procedimiento, observador, instrumento de medición, lugar, condiciones ambientales, periodo de tiempo entre repeticiones.

Sin embargo los aspectos que varían en el laboratorio López Hermanos Ltda. son: procedimiento, observador, condiciones ambientales y periodo de tiempo entre ensayos, por lo que se estimará la incertidumbre del ensayo bajo la variación de dichos aspectos únicamente.

Tres operadores que rutinariamente realizan el ensayo de contenido de agua, cada uno toma tres muestras del mismo suelo con igual masa W_1 (77,23 g en promedio), en recipientes calibrados de igual masa, tras haber caracterizado el tipo de suelo deciden la temperatura a la que se deben secar y los dejarán secar tanto tiempo como consideren necesario. Con dicha prueba se busca estimar entonces la dispersión de los nueve datos de masa seca, brindando la incertidumbre que causa el criterio del operador en la elección de la temperatura y el tiempo de secado. En la tabla 5 se resume el cálculo de la incertidumbre para F_{ts} :

²¹ RESTREPO DÍAZ, Jaime Dario Metrología. 1st edition ed: LEMOINE EDITORES SAS, 2013. 445 p. 978-958-59035-7-9.

Tabla 5. Incertidumbre del factor F_{ts} .

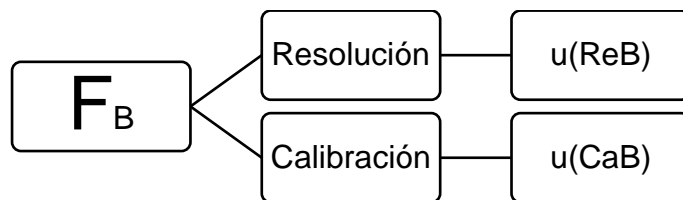
	Operador 1	Operador 2	Operador 3
Espécimen	Masa seca más recipiente, W2		
1	65,35	65,25	65,24
2	65,32	65,24	65,36
3	65,26	65,29	65,33
$s(F_{ts})$		0,04796	
$u(F_{ts})$		0,01599	

Fuente: El autor

Donde $s(F_{ts})$, es la desviación estándar de los nueve datos de masa seca más recipiente y $u(F_{ts})$ su incertidumbre.

7.3.4.4 Incertidumbre asociada a la balanza, F_B El procedimiento del ensayo de Humedad Natural está basado en la medición de masas, por esta razón es necesario realizar la evaluación de la incertidumbre brindada por el equipo de medición de masa, aun cuando se perciba que será mínimo el aporte de incertidumbre por dicho factor. Para determinar la incertidumbre de la balanza se tendrá en cuenta la incertidumbre brindada por el informe de calibración de la balanza y su resolución.

Figura 6. Componentes de la incertidumbre asociada a F_B



Fuente: El autor

En la medición de las masas W_c , W_1 y W_2 , se debe usar una balanza con una resolución de 0,01 g, la incertidumbre brindada por la resolución del equipo

representa una distribución rectangular, por lo tanto se utiliza la ecuación (7) para su estimación:

$$u(x_i) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{12}} = \frac{a/2}{\sqrt{3}}$$

Donde $a_+ - a_-$ representa el intervalo de la función densidad de probabilidad dado por la resolución del equipo;

$$u(ReB) = \frac{\text{resolución del equipo}}{\sqrt{12}}$$

$$u(ReB) = \frac{0,01}{\sqrt{12}} = \pm 0,00289 \text{ g}$$

Por otra parte el reporte de calibración, indica una incertidumbre de:

$U = \pm 0,005 \text{ g}$, en un nivel de confianza de 95,45 %; por lo tanto la incertidumbre estándar, según la ecuación (5), es:

$$u(CaB) = \frac{0,005}{2} = \pm 0,0025 \text{ g}$$

Por lo tanto, la incertidumbre brindada por la balanza es:

$$u(F_B) = \sqrt{u(CaB)^2 + u(ReB)^2}$$

$$u(F_B) = \sqrt{0,0025^2 + 0,00289^2}$$

$$u(F_B) = 0,0038 \text{ g}$$

7.3.4.5 Incertidumbre asociada al horno, F_h

La incertidumbre brindada por el informe de calibración del horno reporta una incertidumbre estándar de:

$$u(F_h) = 1^\circ \text{ C}$$

7.3.5 Calcular la incertidumbre combinada, $uc(y)$ Para la estimación de la incertidumbre combinada se determina primero el coeficiente de sensibilidad.

7.3.5.1 Cálculo del coeficiente de sensibilidad. Para saber la sensibilidad del mensurado respecto a cada variable, se realizan variaciones en cada una de ellas mientras las demás variables permanecen constantes para ver su variación en el mensurado. Las variaciones se anotan en la tabla 6 , la pendiente dada por la relación $\Delta Y/\Delta X_i$ será el coeficiente de sensibilidad ci .

Tabla 6 Cálculo de coeficiente de sensibilidad ci

$\Delta W1$				
Wc (g)	W1 (g)	W2 (g)	w	ci
8	77,10	68,62	0,13989	0,0165
8	77,20	68,62	0,14154	
8	78,00	68,62	0,15473	
8	80,5	68,62	0,19597	
8	100,7	68,62	0,5292	

Tabla 6 Cálculo de coeficiente de sensibilidad ci (Continuación)

$\Delta W2$				
Wc (g)	W1 (g)	W2 (g)	w	ci
8	77,00	65,00	0,21053	0,0176
8	77,00	68,30	0,14428	
8	77,00	70,00	0,1129	
8	77,00	75,00	0,02985	
8	77,00	76,00	0,01471	

Fuente: El autor

La masa del recipiente se incluye en el modelo matemático solo con fines prácticos, pero no interviene en el concepto del contenido de humedad, por lo tanto una variación de Wc no causa variaciones en el mensurado, así pues su coeficiente de sensibilidad es igual a 0.

La guía de EURACHEM ²² explica que para los factores F_{ts} , F_h , F_B y F_T introducidos a la incertidumbre como efectos sobre el mensurado sin estar inicialmente explícito en el modelo matemático, tendrán un coeficiente de sensibilidad igual a 1,0.

²² EURACHEM/CITAC. Guía: Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas Tercera Edición Inglesa, Primera Edición Española. CG 4: S L R (LGC, UK) A Williams (UK) 2012. 134 p.

7.3.5.2 Propagación de la incertidumbre. Una vez se tiene los coeficientes de sensibilidad de las variables previstas en el modelo matemático, se procede a la estimación de la incertidumbre combinada mediante la ecuación (10) teniendo en cuenta la ley de propagación de la incertidumbre.

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \cdot F_B \cdot F_T \cdot F_{ts} \cdot F_h \cdot 100$$

$$u_c(W_1 - W_2) = \sqrt{c_{W_1}^2 \cdot u(W_1)^2 + c_{W_2}^2 \cdot u(W_2)^2}$$

$$u_c(W_1 - W_2) = \sqrt{(0,0165)^2 \cdot (0,04497)^2 + (0,0176)^2 \cdot (0,06360)^2}$$

$$u_c(W_1 - W_2) = 0,00134$$

$$u_c(W_2 - W_c) = \sqrt{c_{W_2}^2 \cdot u(W_2)^2 + c_{W_c}^2 \cdot u(W_c)^2}$$

$$u_c(W_2 - W_c) = \sqrt{0,0176^2 \cdot 0,06360 + 0^2 \cdot 0,01915^2}$$

$$u_c(W_2 - W_c) = 0,00112$$

Para la combinación de la incertidumbre de los términos que se dividen y se multiplican, se realiza el cálculo de las incertidumbres relativas, para esto se tomarán como ejemplo los siguientes datos de entrada:

Masa del recipiente, W_c : 8,83 g

Masa del recipiente más suelo húmedo, W_1 : 77,30 g

Masa del recipiente más suelo seco, W_2 : 68,62 g

Secado de muestra a temperatura de 110° C

$$W_1 - W_2 = 77,30 \text{ g} - 68,62 \text{ g} = 8,68 \text{ g}$$

$$W_2 - W_c = 68,62 \text{ g} - 8,83 \text{ g} = 59,79 \text{ g}$$

$$u_c(w) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{u(x_i)}{x_i} \right]^2}$$

$$u_c(w) = \sqrt{\left(\frac{0,00134}{8,68}\right)^2 + \left(\frac{0,00112}{59,79}\right)^2 + \left(\frac{0,0038}{1}\right)^2 + \left(\frac{0,0577}{1}\right)^2 + \left(\frac{0,04796}{1}\right)^2 + \left(\frac{1/110}{1}\right)^2}$$

$$u_c(w) = 0,07568$$

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \cdot 100$$

$$w = \frac{8,68}{59,79} \cdot 100 = 14,52 \%$$

Por lo tanto el contenido de humedad para el suelo estudiado es de 14,52%, con una incertidumbre estándar combinada de 0,076*.

7.3.6 Calcular incertidumbre expandida, U Se toma un factor de cobertura, K, igual a 2 para brindar el resultado de la incertidumbre con un nivel de confianza de 95,45%. Usando la ecuación (17) la incertidumbre expandida de la humedad natural para éste caso es:

$$U(y) = u_c(y) \cdot k$$

$$U(y) = 0,076 \cdot 2 = 0,152$$

La humedad por lo tanto es igual a 14,52%, con una incertidumbre de 0,152 %, en un intervalo de confianza de 95,45%.

7.3.7 Reportar resultados En la Tabla 7 se resume los resultados del cálculo de la incertidumbre para el ensayo de Humedad Natural. En la columna de incertidumbre relativa o ponderada, se expone las incertidumbres estándar multiplicadas por el coeficiente de sensibilidad (incertidumbre ponderada) para los tres primeros casos, y en los siguientes el cociente de las incertidumbres u(xi) entre los valores xi (incertidumbre relativa), para la incertidumbre combinada se dan los resultados de la división de términos para la correcta aplicación de la ley

* “Los resultados de incertidumbre rara vez necesitan dar más de dos cifras significativas” EURACHEM/CITAC. Guía: Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas Tercera Edición Inglesa, Primera Edición Española. CG 4: S L R (LGC, UK) A Williams (UK) 2012.

de propagación de incertidumbres e incertidumbres relativas, se debe tener en cuenta que las incertidumbres relativas están en función de los resultados de laboratorio, dichos resultados son la mejor estimación de un grupo de datos tan grande como lo exija el análisis llevado a cabo.

Tabla 7. Resumen de incertidumbre del ensayo de Humedad Natural

Componentes de la incertidumbre estándar $u(x_i)$	Fuente de incertidumbre	Tipo de distribución, Tipo de incertidumbre	Valor estimado x_i	Fuente de información	Incertidumbre estándar	Incertidumbre relativa o ponderada	Coefficiente de sensibilidad c_i
$u(W_c)$	Masa del recipiente	Normal, tipo A	8,83 g	Desviación estándar de 3 muestras, 3 repeticiones	0,01915 g	0,0	0,0
$u(W_1)$	Masa de suelo húmedo en el recipiente		77,3 g		0,04497 g	0,0007	0,0165
$u(W_2)$	Masa de suelo seco en el recipiente		68,62 g		0,06360 g	0,0011	0,0176
$u(F_B)$	Balanza Calibración Resolución	Estándar, Tipo B Rectangular, Tipo B	1	Reporte de calibración Dígitos de lectura de masa	0,0025 g 0,00289 g	0,038	1
$u(F_T)$	Tratamiento de la muestra	Rectangular, Tipo B	1	Criterio de experto	0,048 g	0,048	1
$u(F_{ts})$	Tiempo y temperatura de secado	Normal, tipo A	1	desviación estándar bajo condiciones de reproducibilidad	0,016	0,016	1
$u(F_h)$	Horno Calibración	Estándar, Tipo B	1	Reporte de calibración	0,0091	0,0091	1
$u(W_1-W_2)$	Combinación de incertidumbre (W1-W2)					0,0013 g/g	
$u(W_2-W_c)$	Combinación de incertidumbre (W2-Wc)					0,0011 g/g	
					$u_c(w, \%) = 0,076$		
					$k = 2$ (95,45 % confianza)		
					$U(w, \%) = 0,152$		

7.4 ELABORACIÓN DE PLANTILLAS EN EXCEL

Las plantillas de EXCEL trabajadas a lo largo de la pasantía se elaboraron con el fin de alimentar el software especializado ILAB, creado como estrategia de mejoramiento del sistema de gestión de la empresa.

La elaboración de las plantillas en Excel para el cumplimiento de los objetivos 2 y 3 de la pasantía se llevó a cabo mediante la metodología descrita en este libro. El trabajo requirió de múltiples modificaciones a fin de obtener plantillas compatibles con el software inédito. A continuación se brinda un ejemplo del procedimiento que se siguió en la elaboración de cada plantilla

Se toma como ejemplo la plantilla realizada para el ensayo de azul de metileno, debido a que fue uno de los primeros ensayos en realizarse durante la pasantía, de esta manera se darán a conocer algunos de los cambios que se realizaron a lo largo del trabajo.

En primer lugar se llevó a cabo la lectura y reconocimiento de la norma utilizada en el laboratorio, en este caso, la norma para el ensayo de Azul de Metileno corresponde a la INV E-235-13, brindada por el INVIAS y titulada como Valor de Azul de Metileno en Agregados Finos.

El ensayo de Azul de Metileno, según INV E-235-13²⁷, consiste en la adición de una solución de azul de metileno a una suspensión de la muestra de ensayo en agua, donde se comprueba la absorción de solución colorante en la muestra mediante la prueba con papel filtro, que detecta la presencia de colorante libre.

Una vez hecha la prueba, se calcula el valor de azul de metileno, expresando en gramos de colorante absorbido por kilogramo de la fracción granulométrica ensayada.

Este ensayo se hace con el fin de determinar el valor de Azul de Metileno en agregados finos, como indicador de cantidad de arcilla nociva presente en el agregado.

Una vez apropiada la norma, se procede a la detección y discriminación de las variables del ensayo en variables de entrada, proceso y salida. Así las variables discriminadas del ensayo en este caso son:

²⁷ INVIAS. Normas de Ensayo de materiales para carreteras. 2013: 342 p.: il.(no. Sección 200 Agregados Pétreos).

Tabla 8. Discriminación de variables en entrada, proceso y salida

Variables		
Entrada	Proceso	Salida
Masa de la muestra de ensayo que pasa el tamiz No.4 o No.200		Valor de Azul de Metileno
Volumen total añadido de la solución colorante		
Volumen de la solución colorante absorbida por la caolinita		

En tercer lugar se diligencian los requerimientos de las plantillas, detallados más adelante y se elabora el formato de salida o informe de resultados.

Las plantillas de Excel utilizadas para cada ensayo constan de tres hojas; una dedicada a la información organizada, llamada “variables”, la segunda llamada “datos de entrada” destinada al ingreso de las variables de entrada que alimentan la tercer hoja titulada como “Hoja de cálculo”, donde se programó el cálculo del ensayo, brindando los resultados de forma organizada y clara en un formato de informe de entrega.

7.4.1 Hoja “variables” La hoja “variables”, además de la información general del ensayo que encabeza la hoja, cuenta con la siguiente información para cada grupo de variables:

- *Nombre de la variable:* Se le da un nombre a la variable, éste nombre será el que se muestre en el recuadro del software al momento de pedir los datos de entrada y los que brindarían un reporte de los resultados, para el caso de las variables de salida.
- *Abreviatura:* La abreviatura es el ID brindado a cada variable.
- *Unidad de medida:* las unidades de cada variable se dispusieron según lo pactado en la norma de cada ensayo.
- *Tipo de variable:* Según el tipo de dato, la variable se clasifica en lista desplegable: fecha, hora, alfabética, numérica decimal, numérica entera, etc.
- *Criterios de validación:* Algunas variables tienen validaciones brindadas por la norma, o de orden lógico, que se deben cumplir a cabalidad. En esta

casilla se anota cuáles son para tenerlas en cuenta en la programación. Dichas validaciones se deben hacer en ILAB expresadas mediante los ID de cada variable.

- *Fórmula:* para el caso de las variables de proceso y salida se anotó la fórmula de cálculo que exigía la norma, expresada mediante los ID propuestos, con el fin de ingresarlos en el software y realizar los cálculos dentro de la plataforma.

En la figura 7 se observa la disposición de la plantilla utilizada en la hoja “variables”, diligenciada con los datos del ensayo de azul de metileno propuestos inicialmente.

Figura 7. Hoja “variables” de plantilla para ensayo de Azul de Metileno

<i>Hoja de control y seguimiento de ensayos de laboratorio</i>					
Nombre	<u>VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS</u>				
Norma(s) de ensayo	<u>INV E -235- 13</u>				
Código ensayo					
Instructivo N°					
Descripción	<u>Determinar el valor de Azul de Metileno en agregados finos, como indicador de cantidad de arcilla nociva presente en el agregado</u>				
Variables entrada					
Nombre	Abreviatura	Unidad de medida	Tipo variable	Criterios de validación	
Tamiz que pasa la fracción fina	Tamiz	-	Texto	Tamiz # 4 o Tamiz # 200	
Masa de la muestra de ensayo	M1	g	Numérico/real	Si Tamiz #4; M1≥200(redondeada al	
Volumen total añadido de la solución colorante	V1	ml	Numérico/real	Redondeada al mililitro mas próximo	
Volumen de la solución colorante absorbida por la caolinita	V'	ml	Numérico/real	Activar en caso que se haya utilizado	
Variables proceso (no visibles)					
Nombre	Abreviatura	Unidad de medida	Tipo variable	Criterios de validación	Fórmula
Variables salida					
Nombre	Abreviatura	Unidad de medida	Tipo variable	Criterios de validación	Fórmula
Valor de Azul de Metileno	VA	g/Kg	Numérico/real	Mayor que cero (0)- redondear a la décima	VA= V1*10/M1, si hay adición de caolinita : VA= (V1-V')*10/M1

Fuente: El autor.

7.4.2 Hoja “variables de entrada” Esta hoja está destinada para el ingreso de variables de entrada, utilizadas para la programación de cálculos en EXCEL y presentación de datos informativos presentes en el formato de informe planteado para cada ensayo.

En la Figura 8 se observa el contenido de la hoja “variables de entrada” para el ensayo de azul de metileno. Estos datos están enlazados con la hoja 3 llamada “hoja de cálculo”.

Figura 8. Hoja “variables de entrada” para el ensayo de azul de metileno.

	A	B	C	D	E
1	Nombre de la variable de entrada	ID	Valor	Unidad	
2	Tamiz que pasa la fracción fina	Tamiz	Tamiz # 4		
3	Masa de la muestra de ensayo	M1	200	g	
4	Volumen total añadido de la solución colorante	V1	15	ml	
5	Volumen de la solución colorante absorbida por la caolinita	V'	2	ml	
6					
7					

Fuente: El autor

7.4.3 Hoja “Hoja de cálculo” En esta hoja se realizó la programación del ensayo, brindando los resultados en un formato de informe de ensayos que cumpla los requisitos descritos en la sección 5.10 de la NTC/IEC 17025.

Figura 9. Formato de Informe de ensayo en "Hoja de cálculo" para ensayo de Azul de Metileno.

The image shows a Microsoft Excel spreadsheet with a ribbon at the top containing tabs: ARCHIVO, INICIO, INSERTAR, DISEÑO DE PÁGINA, FÓRMULAS, DATOS, REVISAR, VISTA, and D. The ribbon is set to 'Inicio' (Home), showing options for font (Arial, size 9), alignment, and text adjustment. The active cell is D4, containing the value '800082726-1'. Below the ribbon, the spreadsheet grid shows a form with the following content:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ENSAYO VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS QUE PASAN TAMIZ #4							
2								
3		<i>Referencia</i>		HN296				
4		<i>NIT. I.C.C.:</i>	800082726-1					
5		<i>Tel.:</i>	6227419-6227429					
6		Fecha de Informe:	25 de febrero de 2018					
7								
8								
9		<i>Norma de ensayo:</i>	INV E -235- 13					
10		<i>Solicitado por:</i>	CONSTRUCTORA HAYUELOS S.A.					
11								
12		<i>Dirección:</i>	Calle 100 No. 8A - 55 Of. 201					
13		<i>Obra:</i>	Ciudad Haguelos Santiago de Tunja					
14		<i>Finalidad:</i>	Determinar la calidad del material para Base granular					
15		<i>Lugar de Procedencia:</i>	Cantera Fidel Garavito					
17		<i>Descripción de la muestra</i>	Arena de grano medio a grueso color gris y amarillo					
19		<i>Muestra tomada por:</i>	Laboratorio López Hermanos Ltda					
20		<i>Muestra No.:</i>	ES16053-48					
21		<i>Fecha de muestreo</i>	01 de septiembre de 2016					
22								
23								
24		Masa de la muestra de ensayo, g		200				
25		Volumen total añadido de la solución colorante, ml		15,00				
26		Volumen de la solución colorante absorbida por la caolinita, ml		2				
27								
28		Valor de Azul de Metileno, g/kg		0.75				
29		Valor de Azul de Metileno con adición de caolinita, g/kg		0.65				
30								
31								
32		OBSERVACIONES:						

At the bottom of the spreadsheet, the sheet tabs are visible: 'variables', 'datos de entrada', 'Hoja de cálculo #4' (active), and 'Hoja de cálculo #200'.

Fuente: El autor

El propósito al inicio de la pasantía consistía en diligenciar la plantilla con los datos necesarios para introducirlo en el software y realizar desde la interfaz de éste el proceso de cálculo, además de las validaciones tanto para las variables de entrada como para las de proceso y salida.

Sin embargo se generaron inconvenientes reiterativos al tratar de integrar las variables de proceso y salida en la interfaz de cálculo y validación, diseñada para ILAB, resultando poco práctico modificar el software para solucionar el problema, dado que EXCEL ofrece la mayoría de las funciones necesarias que exige la programación matemática de los ensayos y fácilmente puede ser ensamblada con ILAB.

Razón por la cual se decidió hacer la programación de cálculos y validaciones de las variables de proceso y salida mediante EXCEL, dejando el software como interfaz de ingreso de datos y validación de los mismos, los cuales a su vez se dirigirán automáticamente a las plantillas de Excel donde se efectuarán los cálculos y validaciones programadas, brindando como resultado un documento en formato PDF o EXCEL con el informe de ensayo.

Los cálculos en las plantillas de Excel quedan ocultos bajo la interfaz de ILAB, brindando un procesamiento de la información automático y seguro. Sin embargo se puede realizar cualquier tipo de modificación o adición de variables bajo el procedimiento brindado por el ingeniero de sistemas encargado del software.

Un ejemplo de los inconvenientes que se presentó respecto al tema de la programación matemática en ILAB con las formulas expresadas mediante los ID propuestos, se debió a que la calculadora del software producía “error” al crear la formula tal como se muestra en la Figura 7 ($VA = V1 * 10 / M1$), debido a que tomaba el número “1” de las variables “V1” y “M1” como un valor para operar sin ningún signo que indique la operación. Este error dio lugar a modificaciones en todas las plantillas ya creadas hasta el momento, cambiando a modo alfabético todas las variables que contenían números.

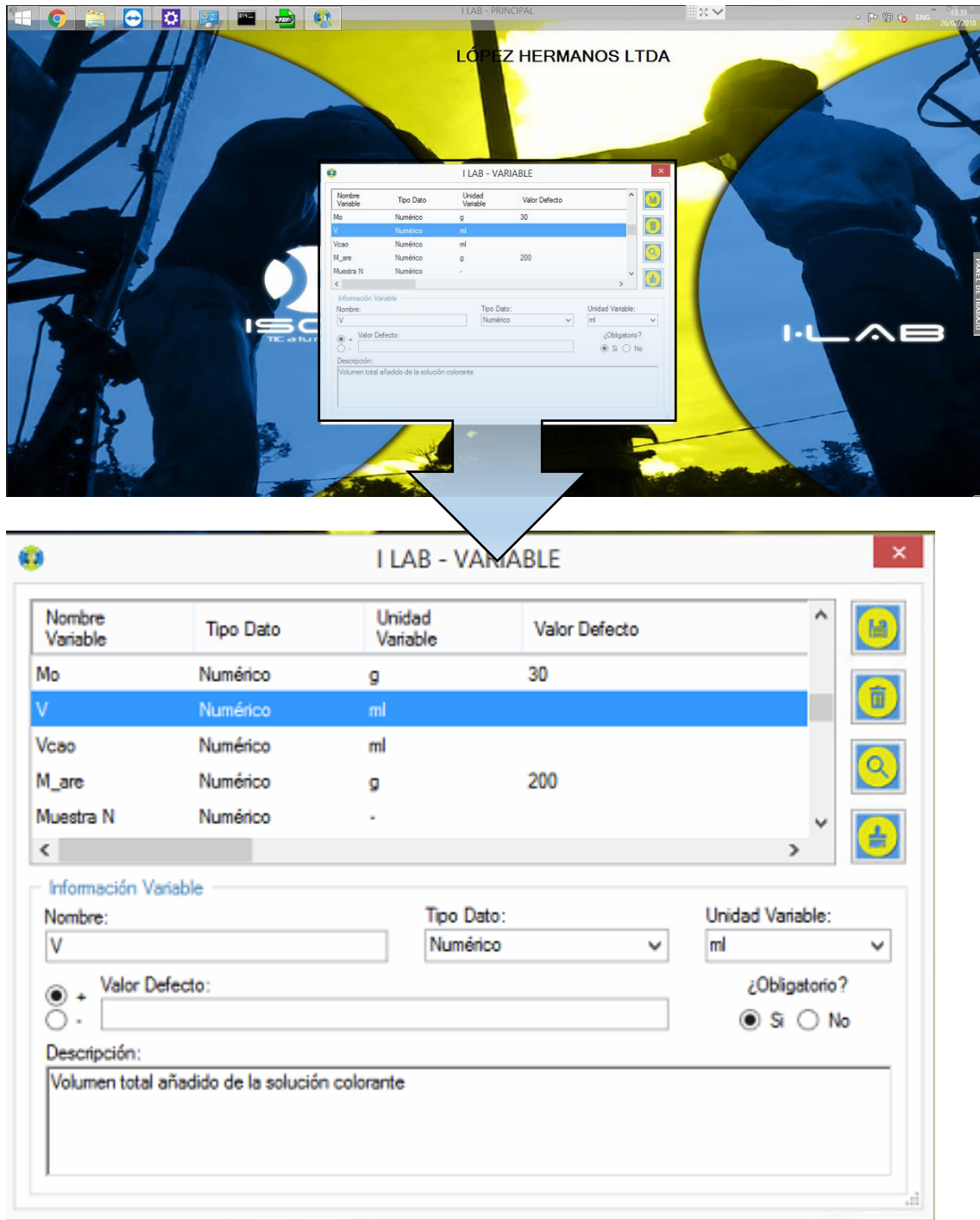
7.4.4 Ensamble de plantillas con ILAB Para lograr el ensamble de las plantillas con el software, en primer lugar se ingresaron las variables al software, paralelamente se creó la lista de ensayos y se les asoció a cada uno las variables correspondientes (Figura 11 y Figura 12), con la configuración que les atañe.

Para alimentar el software, inicialmente se introducía el nombre de la variable, el ID, las unidades de la variable, clase de variable (entrada, proceso y salida) y la fórmula para el caso de las variables de proceso y salida, pero debido a las modificaciones la interfaz pide para su alimentación los siguientes items: Nombre, descripción y unidad de la variable, marcar si es obligatoria o no, tipo de dato y valor por defecto.

En la Figura 10 se observa la interfaz de ILAB para la creación de variables dentro del software. El espacio designado como “Nombre variable” se refiere al

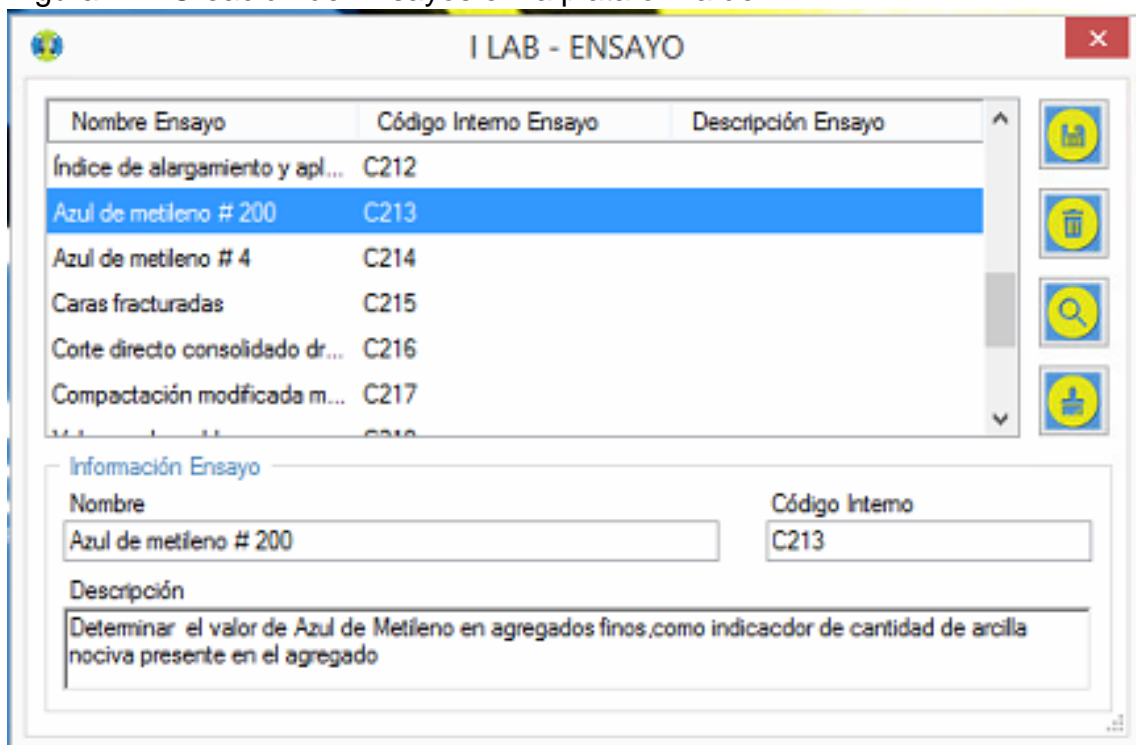
ID de la variable y el espacio “Descripción” está dedicado al nombre de la variable consignado en las plantillas.

Figura 10. Interfaz para la introducción de variables en el software I LAB



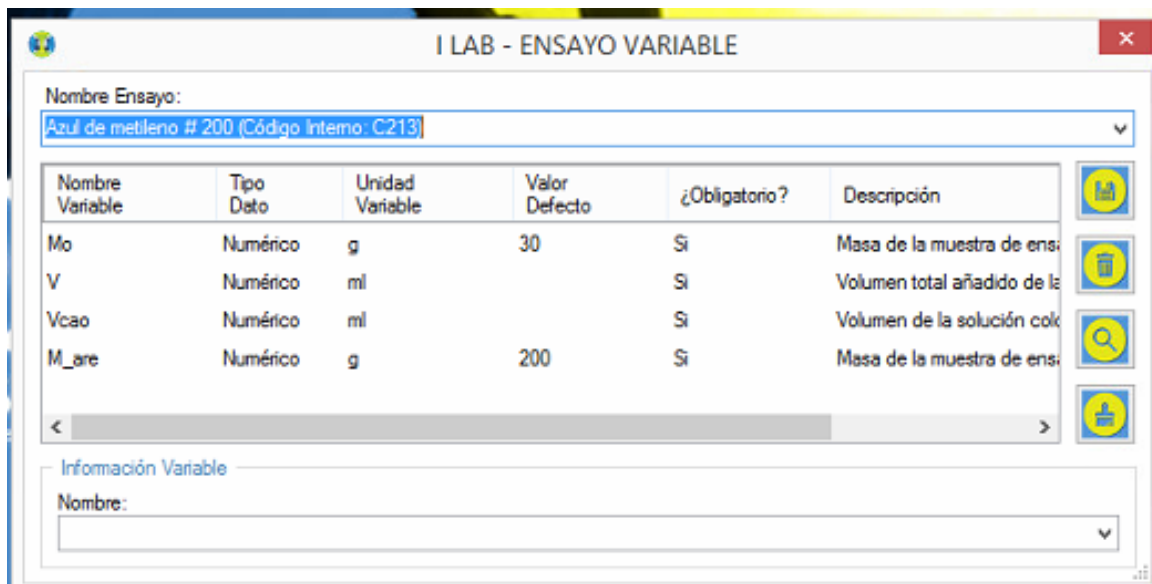
Fuente: El autor

Figura 11. Creación de Ensayos en la plataforma de ILAB



Fuente: El autor

Figura 12. Asociación Ensayo- Variable del ensayo Azul de Metileno



Fuente: El autor

8 CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de la guía para la estimación de la incertidumbre en los ensayos de laboratorio se puede apreciar el esfuerzo que se ha hecho humanamente por la búsqueda de la verdad y por mantenerla bajo la mano de la justicia. Ya que los resultados brindados al cliente representarán una aproximación de la realidad, tan cercana como sea posible y tanto como sea necesaria, así el cliente pagará por obtener lo que solicita y no por una aproximación muy lejana de ello o por un valor exageradamente exacto, tanto que se termine pagando de más.

Así, se puede dar razón una vez más a la necesidad impetuosa de mantener siempre un límite bien marcado de nuestros objetivos para no caer en exageraciones vanas.

La trazabilidad de un proceso es necesaria para promover no solamente la buena calificación del mismo sino también para proporcionar resultados confiables por un precio justo que permitan ser utilizados tranquilamente en el diseño de cualquier tipo de estructura.

La determinación cuantitativa de las propiedades del suelo, sin duda, tienen un gran margen de incertidumbre, sin embargo se han desarrollado métodos que permiten mantener resultados bajo un control justo y comparables con fines prácticos al momento de realizar los análisis pertinentes. Dichos métodos deben estar avalados por el ICONTEC y plasmados en documentos de carácter formal, además es de resaltar que actualmente se cuenta con múltiples facilidades brindadas por la tecnología, para disminuir cada vez más la incertidumbre atribuida a los ensayos de este tipo.

Realizar una estimación de la incertidumbre con base en todos los factores que le afectan, aunque contribuiría enormemente con la trazabilidad, resulta casi imposible. Sin embargo es de gran utilidad contar con sistemas digitales que puedan mantener un reporte en tiempo real y un historial que permita reconocer y corregir los errores en el momento acertado. El trabajo llevado a cabo en EXCEL con la elaboración de las plantillas y su ensamble al software, tuvo un desarrollo exitoso y la metodología seleccionada para su desarrollo fue apropiada.

Haber llevado a feliz término la pasantía, significa para la empresa Lopez Hermanos un avance significativo en las tareas trazadas para su acreditación, facilitando el óptimo funcionamiento del software.

Las actividades desarrolladas durante la práctica, fortalecieron los conocimientos y habilidades como ingeniera civil, mediante la lectura y apropiación de las normas de laboratorio, el conocimiento de las normas de acreditación para la gestión de calidad de los laboratorios, el enriquecimiento en el manejo de herramientas tecnológicas para la automatización de cálculos y la comunicación interdisciplinar con el ingeniero de sistemas para llevar un trabajo mancomunado y eficaz.

BIBLIOGRFÍA

- 1 "López Hermanos Ltda". En línea.
- 2 Decreto 2269. 1993: 1 p.:
- 3 Decreto 3257. 2008: 1 p.:
- 4 17025, ISO/IEC. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración Colombia, 2005: p.: il.(no. 17025).
- 5 Diaz, Jaime Dario Restrepo. Metrología. 1st edition ed: LEMOINE EDITORES SAS, 2013. 445 p. 978-958-59035-7-9.
- 6 Joint Committee for Guides in, Metrology. Vocabulario Internacional de Metrología (VIM). 3 ed2012.
- 7 Metrology-JCGM, Joint Committee for Guides in. Evaluation of measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement. 100:20082008. 120 p.
- 8 Schmid, Wolfgang A. y Lazos Martines, Ruben J. Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición. México: Centro Nacional de Metrología 2000).
- 9 "AIS-Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica ". En línea. disponible en: (<https://www.asosismica.org.co/acerca-de-ais/historia/>).
- 10 Invias. "Misión y Visión INVIAS". En línea. disponible en: (<http://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/mision-y-vision>).
- 11 "ASTM International". En línea. disponible en: (https://www.astm.org/ABOUT/full_overview.html).
- 12 AASHTO Overview. En: Transportation.org.
- 13 TÍTULO H-NSR 10. 2010), p. H-8.
- 14 "Normatividad Concreto | Soluciones para el Constructor | CEMEX Colombia". En línea. disponible en: (<http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/NormatividadConcreto.aspx>).

- 15 "Las normas técnicas en la industria del concreto - Concreto - 360 Grados - Blog en Concreto". En línea. disponible en: (<http://blog.360gradosenconcreto.com/las-normas-tecnicas-en-la-industria-del-concreto/>).
- 16 INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras- Introducción Colombia 2012).
- 17 Morales Vélez, Jonathan, et al. Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software. 2013
- 18 Grupo, ISSI. Metodologías ágiles en el desarrollo de software. 2003
- 19 SCHMID, Wolfgang A. y LAZOS MARTÍNEZ , Ruben J. Guia para Estimar la Incertidumbre de la Medición. En: Centro Nacional de Metrología. Mayo 2000, no. 4, p. 27.
- 20 JCGM. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. 2008: 120 p.: il.(no. 100).
- 21 RESTREPO DÍAZ, Jaime Dario Metrología. 1st edition ed: LEMOINE EDITORES SAS, 2013. 445 p. 978-958-59035-7-9.
- 22 EURACHEM/CITAC. Guía: Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas Tercera Edición Inglesa, Primera Edición Española. CG 4: S L R (LGC, UK) A Williams (UK) 2012. 134 p.
- 23 DELGADO ALAMILLA, Horacio, et al. ESTIMACION DE LA INCERTIDUMBRE EN METODOS DE ENSAYOS DE CONSTRUCCIÓN. En: Publicación Técnica. 2005), p. 88
- 24 ISO/CASCO. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración 2005: 29 p.: il.(no. ISO/IEC 17025: 2005 (ES)).
- 25 INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras- sección 100. Colombia 2012. 798 p.
- 26 IDEAM. CARÁCTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS TURÍSTICOS.
- 27 INVIAS. Normas de Ensayo de materiales para carreteras. 2013: 342 p.: il.(no. Sección 200 Agregados Pétreos).