

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



TRABAJO DE DIPLOMA

**Software para asistir el proceso de calibración de
instrumentos de medida**

Autor: Leyanis Albo Valladares

Tutor: Dr. Eduardo Izaguirre Castellanos.

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



TRABAJO DE DIPLOMA

Software para asistir el proceso de calibración de instrumentos de medida

Autor: Leyanis Albo Valladares

e-mail: lalbo@uclv.edu.cu

Tutor: Dr. Eduardo Izaguirre Castellanos

Dpto. de Automática, Facultad de Ing. Eléctrica, UCLV

e-mail: izaguirre@uclv.edu.cu

Consultante: Ing. Emérita Veitía Álvarez.

emerita@ativc.une.cu

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

Imagination is more important than knowledge.

Knowledge is limited, imagination encircles the world.

Albert Einstein

DEDICATORIA

A mis padres,
por la confianza, el apoyo y la formación que me han brindado.

A mi hermano,

A Yondito,
por estar siempre ahí y cuidarme todo este tiempo.

A mi familia y amistades,
por creer en mí.

A mis profesores, en especial a Izaguirre,
que sin su ayuda no hubiese llegado hasta aquí.

TAREA TÉCNICA

Para cumplir con el objetivo de la investigación y dar solución al problema científico se desarrollaron las siguientes tareas de investigación:

- La realización de un estudio relacionado con los temas incluidos dentro del objeto de investigación.
- La caracterización de los requisitos asociados al programa para el procesamiento de los resultados derivados del proceso de calibración de instrumentos de medida.
- El análisis de los mecanismos computacionales más adecuados para el desarrollo del software.
- El diseño del software y desarrollo de la interfaz gráfica de usuario para compendiar y procesar los datos asociados al proceso de medición.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

Los procesos de calibración constituyen para la industria una necesidad imperante pues los sistemas o cadenas de medida pueden sufrir desviaciones en sus características, perdiendo veracidad en el resultado de la medición. Asimismo, dicho proceso debe ser óptimo y fiable por lo que es imprescindible que se realice siguiendo los procedimientos y normas establecidas.

Con el objetivo de perfeccionar estos procesos, en este trabajo científico se diseñó un software que cumple con las mencionadas normas y regulaciones, y destinado para el empleo en la Empresa ATI – UEB “Villa Clara”. Dicho software se caracteriza por ser flexible, de fácil comprensión e interactivo con el usuario; con capacidad además, de proveer de información al personal calibrador auxiliándolo durante el proceso de calibración.

Luego, al dotar a la Empresa ATI – UEB “Villa Clara” de un software que asista al proceso de calibración se simplifica el propio proceso y se alcanzan mejoras significativas en cuanto a desempeño y calidad del proceso.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
TAREA TÉCNICA.....	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN	1
Organización del informe	4
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA METROLOGÍA	5
1.1 La Metrología como ciencia	5
1.2 Aspectos relacionados con la calibración de instrumentos de medida	6
1.3 Importancia de los procedimientos de calibración	7
1.3.1 Conceptos asociados	8
1.4 Responsabilidad de la función metrológica en las empresas	10
1.5 Normas y Reglamentaciones	12
1.6 Conclusiones del Capítulo	13
CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN	14
2.1 El proceso de calibración	14
2.2 Variables estadísticas asociadas a los procesos de calibración de instrumentos de medida	15

2.2.1	Cálculo de incertidumbres	15
2.2.2	Cálculo de los errores	19
2.3	Metodología a seguir durante el proceso de calibración.....	20
2.3.1	Corridas y tomas de datos.....	21
2.4	Criterios de conformidad	22
2.5	Conclusiones del Capítulo	23
CAPÍTULO 3. SOFTWARE PARA ASISTIR AL PROCESO DE CALIBRACIÓN....		24
3.1	Estudio y evaluación de las plataformas de software candidatas. Ventajas y desventajas.	24
3.2	Requisitos y prestaciones asociadas al procesamiento de los resultados derivados del proceso de calibración.....	26
3.3	Diseño de software y de la interfaz gráfica de usuario. Características.	27
3.3.1	Diagrama de flujo	28
3.3.2	Diseño de la base de datos	28
3.3.3	Diseño del software	30
3.3	Pruebas y resultados experimentales.	38
3.4	Análisis Técnico-Económico	39
3.5	Conclusiones del Capítulo	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		41
Conclusiones		41
Recomendaciones		42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		43
ANEXOS		46
Anexo 1.	Modelo de Acta de Calibración.....	47
Anexo 2.	Diagrama de Flujo.....	49

Anexo 3. Relaciones entre las tablas de la base de datos	52
Anexo 4. Certificado de calibración que se emite	53

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la humanidad el empleo de instrumentos se convirtió en necesidad imperante una vez descubierta su utilidad como medio de defensa, caza y orientación. Sin embargo, ellos no quedaron detrás sino que evolucionaron simultáneamente con la humanidad; de forma tal que hoy en día gracias a los avances tecnológicos son indispensables en todas las ramas de las ciencias, y con un inmenso número de aplicaciones constituyen la base del control de los procesos en la industria (Dunn, 2005).

Los instrumentos de medida son aquellos instrumentos que se emplean para llevar a cabo mediciones, y que responden a diferentes métodos de medida en dependencia de la aplicación. Estos métodos, han sido de gran importancia desde los comienzos de la civilización; pero no fue hasta el siglo XIX, durante la Revolución Industrial, que se alcanzó un desarrollo precipitado de instrumentos y técnicas de medida completamente nuevas para satisfacer las necesidades de la producción industrial. Desde entonces ha existido un vasto y rápido crecimiento en la tecnología industrial que se hace evidente en el presente siglo (Morris, 2001).

Sin embargo, cabe plantearse la siguiente cuestión: ¿Por qué son necesarias las mediciones? La medición se realiza para obtener información sobre lo que se mide, y el valor de dicha información determina los requerimientos para un apropiado proceso de confirmación metrológica. El factor clave sobre las mediciones es comprender cuándo es importante conocer - con certeza - la confiabilidad de la medición (Vaisala, 2006).

La calibración forma parte del proceso de confirmación metrológica y es necesaria pues los instrumentos en los sistemas o cadenas de medida pueden sufrir una desviación en sus características perdiendo veracidad en el resultado de la medición.

La UEB Empresa de Tecnología de la Información y Automática (ATI) de la provincia Villa Clara, es una empresa capacitada para realizar dichas tareas de confirmación metrológica, donde una vez realizados los experimentos que demanda el proceso y siguiendo las orientaciones de la Instrucción de Calibración elaborada en el centro, se procede a analizar y procesar estrictamente los datos obtenidos para entonces declarar la aptitud del sistema o cadena de medida examinado.

Este procesamiento de datos es realizado actualmente auxiliándose de hojas de cálculo en Excel; sin embargo, dichas actividades poseen una limitante, los datos adquiridos en los distintos experimentos son tomados *in-situ* y de forma escrita. Luego, en otro momento, son transmitidos a la unidad empresarial ATI – UEB “Villa Clara” donde son procesados en las mencionadas hojas de cálculo y posteriormente declarados los resultados.

Teniendo en cuenta que, actualmente la Empresa ATI – UEB “Villa Clara” carece de un software para procesar los datos resultantes de los experimentos que se realizan a los sistemas y cadenas de medida para su confirmación metrológica, se hace necesario el diseño de un software capaz de procesar los resultados obtenidos en el proceso de calibración de los sistemas y cadenas de medida; determinando el siguiente problema científico: en la Empresa ATI – UEB “Villa Clara” no existe un software que asista el proceso de calibración en los sistemas y cadenas de medida.

Para dar solución a este problema científico se determinó el objeto de investigación en la Metrología y la Calibración de los sistemas y cadenas de medida. En este sentido, se propone como objetivo diseñar un software que asista el proceso de calibración metrológica en los sistemas y cadenas de medida, permitiendo un óptimo desempeño del proceso por concepto de tiempo, costos y fiabilidad en los experimentos.

Luego, el campo de acción queda delimitado por el Diseño de software para la calibración de los sistemas y cadenas de medida.

En el mundo existen softwares que asisten al proceso de calibración; sin embargo, su adquisición es costosa y generalmente con aplicabilidad limitada, pues están predestinados sólo a los instrumentos fabricados por el comercializador del propio software.

Algunos de estos softwares para la gestión de la calibración son:

- **Trescal - Calibration Management Software**

Es un Software perteneciente a Trescal, empleado para garantizar seguridad en la calidad de los equipos de medición que son de su propiedad ya sean indicadores, instrumentos, equipos de calibración, medidores, sondas, termopares, etc. Entre las funciones que ofrece está la captura de los datos, gestión de operaciones técnicas y administrativas, seguimiento gráfico de las mediciones, identificación de retardos, etc.(Trescal, 2013).

- **Intecal - Calibration Management Software**

Comercializado por la compañía norteamericana General Electric, es un software que posibilita generar procedimientos de calibración, planificación y documentación de los resultados. Diseñado para gestionar automáticamente la calibración de instrumentos de la marca Druck, con dos posibles ambientes gráficos ya sea para calibraciones portables básicas (*in-situ*) o para calibraciones de laboratorio avanzadas, con planificación para el mantenimiento; el mismo almacena datos de los instrumentos calibrados, los procedimientos y los resultados (Intecal, 2014).

- **GAGEpack**

Es un software desarrollado por PQSystems, capaz de gestionar un historial completo de dichos instrumentos al conservar los históricos de reparaciones realizadas, planificar futuras calibraciones, conservar sus seguimientos de revisión para conocer la trazabilidad del mismo y suministrar un completo análisis estadístico y gráfico del sistema de medida (PQSystems, 2012).

El desarrollo del proyecto es viable en nuestro país, pues la entidad que lo representa cuenta con los recursos materiales y el personal calificado para el desempeño del mismo.

De esta forma, con el desarrollo del nuevo software se incorpora como posible ventaja el poder introducir los datos en el software y obtener los resultados instantáneamente, sin necesidad de hacerlo de forma manuscrita. De igual forma, sería posible la generación de históricos de los resultados de las calibraciones lo que resultaría más cómodo para el metrologo, y demás personal involucrado en el proceso de calibración al poder consultar los mismos posteriormente.

También se pretende que dicha aplicación sea de carácter portable, es decir, que pueda ser ejecutada en cualquier PC existente dondequiera que se realicen las actividades de calibración, ya sea en la industria o en el laboratorio, sin necesidad de dirigirse hasta la unidad empresarial ATI – UEB “Villa Clara”, lo que economizará en tiempo y costos; así como supondrá un impacto notable en la calidad de sus servicios de metrología, al poder realizar el análisis de disponibilidad de un mayor número de instrumentos *in-situ*.

Organización del informe

El presente informe de investigación está compuesto por tres capítulos, los cuales harán constar el estudio realizado para desarrollar una Interfaz Gráfica que asista el proceso de calibración en los sistemas de medida

El **primer capítulo** engloba los fundamentos básicos de la metrología, estudio que de forma muy genérica facilita la comprensión de dicha ciencia. Quedan expuestos los principales conceptos a dominar sobre los instrumentos de medida como unidad básica de los sistemas de medida y se aborda el proceso de calibración como actividad fundamental para garantizar fiabilidad en las mediciones. Se incursiona en las normas y reglamentaciones establecidas para desempeñar dicho proceso y el cumplimiento de las mismas por parte de la Empresa ATI – UEB “Villa Clara”.

El **segundo capítulo** establece los procedimientos para la calibración proporcionando una perspectiva general del proceso. Además se plantean las principales variables estadísticas asociadas a los procesos de calibración de instrumentos de medida, lo que servirá de base al desarrollo del software para procesar los datos resultantes de los experimentos. Se expone, igualmente, la metodología o pasos a seguir durante el proceso de calibración y los criterios de conformidad a tener en cuenta durante el procesamiento de los datos.

El **tercer capítulo** incursiona en los principales aspectos a tener en cuenta durante el diseño del software. Se realiza un estudio de las posibles plataformas de software y se evalúa cuál es la más adecuada para diseñar el software. Por otra parte, se abordan los requisitos y prestaciones asociadas al software, cómo se llevó a cabo el diseño y sus principales características. Quedarán expuestos los resultados de las distintas pruebas experimentales que se realicen así como el análisis técnico-económico de los resultados alcanzados.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA METROLOGÍA

En este capítulo se incursiona en los fundamentos básicos de la metrología y los principales conceptos a los que se hará referencia; finalmente se aborda la responsabilidad de la función metrológica en las empresas, cumpliendo con las normas y reglamentaciones establecidas, de manera particular al caso de la Empresa ATI – UEB “Villa Clara”.

1.1 La Metrología como ciencia

La Metrología es la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones (Oficina Nacional de Normalización, 2012), y es esencial en la investigación científica, la cual constituye a su vez la base del desarrollo de la propia metrología (CEM et al., 2008).

Esta ciencia cubre tres actividades principales: la definición de las unidades de medida aceptadas internacionalmente, la realización de las unidades de medida por métodos científicos y el establecimiento de las cadenas de trazabilidad, determinando y documentando el valor y exactitud de las mediciones y diseminando dicho conocimiento (CEM et al., 2008).

Se considera que esta ciencia se divide en tres categorías (CEM et al., 2008):

- La **Metrología Científica**: se orienta hacia los patrones de medida, su organización y desarrollo, así como su mantenimiento.
- La **Metrología Legal**: se ocupa de aquellas mediciones que influyen sobre la transparencia de las transacciones económicas, particularmente cuando hay un requisito de verificación legal del instrumento de medida.
- La **Metrología Industrial**: se enfoca en los instrumentos de medida empleados en la industria, su adecuado funcionamiento para asegurar la calidad de vida de los ciudadanos y para la investigación académica.

El término *instrumento de medida* es ampliamente utilizado en estas tres categorías, siendo un dispositivo que se emplea para realizar mediciones de forma individual o con la ayuda de elementos suplementarios, que pueden ser de tipo indicador o sencillamente brindar una medida materializada, o sea un patrón (Oficina Nacional de Normalización, 2012).

En cambio, un instrumento de medida que puede ser utilizado individualmente, es un *sistema de medida* (Oficina Nacional de Normalización, 2012); por ello, es común emplear el término instrumento de medida para describir todo un sistema de medida.

Los sistemas de medida proveen de información sobre el valor físico de la variable que está siendo medida. Existen casos donde el sistema solo consiste en una unidad que brinda una lectura o una señal de salida de acuerdo con la magnitud de la variable, no obstante, existen casos más complejos donde un sistema de medida consiste de varios elementos individuales, que pueden estar físicamente juntos dentro de una misma estructura o aislados individualmente (Morris, 2001).

1.2 Aspectos relacionados con la calibración de instrumentos de medida

Si se verifica la capacidad y el rendimiento de un instrumento de medida en las condiciones normales donde será empleado y es puesto a prueba mediante la comparación con la trazabilidad de medidas estándares en un instrumento patrón, entonces puede decirse que de forma general estamos ante un proceso de calibración (Bucher, 2007).

La (Oficina Nacional de Normalización, 2012) define como calibración, a la operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

Este proceso de forma explícita consiste en comparar las mediciones obtenidas en el instrumento a calibrar ante un estímulo externo, trazable y a plena escala. Esta comparación se realiza de forma directa con patrones de medida o materiales de referencia certificados, con el objetivo de detectar desviaciones fuera de los límites de tolerancia para su posterior minimización mediante ajustes, o en el peor de los casos reemplazo (Duvernoy and Dubois, 2006).

De esta manera, el proceso es útil para determinar las características metrológicas de un instrumento, sistema o material de referencia; que serán emitidas luego en un certificado de calibración y el correspondiente etiquetado del instrumento en la mayoría de los casos (CEM et al., 2008). En dicho certificado se presenta además el desempeño del instrumento de medida en el momento de la calibración, así como las condiciones bajo las cuales se efectuó el proceso (Vaisala, 2006).

Las calibraciones pueden tener lugar en los laboratorios de calibración o en la propia industria, *in situ* como se le denomina; esta última resulta en ocasiones muy conveniente, pues puede ocurrir que la transportación del instrumento de medida a calibrar sea difícil o que el monto de instrumentos a calibrar sea muy alto (Vaisala, 2006). Este tipo de calibración es rápida, sencilla y sin necesidad de mover el instrumento de medida de lugar, por lo que se elimina cualquier lapso de tiempo donde el proceso se detuviera por concepto de desinstalación o instalación del instrumento.

Sin embargo, en estos casos los niveles de incertidumbres han de ser mayores por la influencia de factores del entorno que pueden afectar al instrumento calibrador, por lo que el personal encargado de efectuar las actividades de calibración debe ser entrenado adecuadamente y estar altamente capacitado para operar bajo estas condiciones (Vaisala, 2006).

En fin, la calibración evidencia las capacidades de desempeño del instrumento y determina su aptitud.

1.3 Importancia de los procedimientos de calibración

La calibración del instrumento de medida, del material de referencia o del sistema de medida constituye una herramienta fundamental para asegurar la *trazabilidad* de una medida (CEM et al., 2008).

De acuerdo con la (Oficina Nacional de Normalización, 2012), la trazabilidad metrológica es la propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.

La trazabilidad incluye la cadena de trazabilidad, la cual consiste en una cadena de comparaciones ininterrumpida, con incertidumbres establecidas, que aseguran relación

entre los resultados o el valor del instrumento patrón con el patrón de niveles superiores (CEM et al., 2008).

Un instrumento ha de estar calibrado para establecer y demostrar su trazabilidad, para garantizar compatibilidad en las lecturas del instrumento con otras mediciones, para determinar la exactitud de las lecturas del instrumento y para establecer la fiabilidad del instrumento, o sea, que sus indicaciones sean confiables (CEM et al., 2008).

Aspectos relativos a los procedimientos de calibración serán tratados con más detalles en el Capítulo 2, no obstante, resulta necesario para los especialistas, técnicos, y personal en general involucrado en esta esfera del saber, el conocimiento y dominio acerca de los principales conceptos relacionados con este campo del conocimiento.

1.3.1 Conceptos asociados

Entre los conceptos principales que se deben conocer de los instrumentos de medida podemos destacar:

- **Intervalo de medida**

Se define el término intervalo de medida como el conjunto de los valores de magnitudes de una misma naturaleza que un instrumento o sistema de medida dado puede medir con una incertidumbre instrumental especificada, en unas condiciones determinadas (Oficina Nacional de Normalización, 2012)

- **Resolución**

El término resolución se define como la mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente (Oficina Nacional de Normalización, 2012), o sea no es más que el mínimo cambio en la variable medida a la que el instrumento responderá (Castellanos, 2006).

- **Exactitud**

La exactitud se define por la (Oficina Nacional de Normalización, 2012) como la proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando. No es una magnitud y no se expresa numéricamente. Se dice que una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida.

La exactitud de medida se interpreta a veces como la proximidad entre los valores medidos atribuidos al mensurando.

- **Error**

De acuerdo con la (Oficina Nacional de Normalización, 2012) el error es la diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.

Durante el proceso de medición se pueden introducir errores como: los que resultan de la mala manipulación del instrumento, los introducidos por ruidos existentes en el lugar donde realiza la medición, e incluso los errores intrínsecos del instrumento.

- **Zona muerta**

Los instrumentos de medida no poseen una capacidad de respuesta instantánea, es decir sin retardos, por mínimos que sean. Por ello, de acuerdo con la aplicación del instrumento, es necesario conocer tal retardo y determinar si es aceptable o no, dada las especificaciones del sistema y la velocidad de respuesta requerida.

Este retardo es conocido como zona muerta y se define como: el intervalo máximo dentro del cual se puede hacer variar en los dos sentidos el valor de la magnitud medida, sin causar una variación detectable de la indicación correspondiente. La zona muerta puede depender de la velocidad de la variación (Oficina Nacional de Normalización, 2012).

- **Incertidumbre**

La *incertidumbre* es una propiedad de los resultados de la medición, que define el rango de valores probables del mesurando (Bucher, 2007) y se define por la (Oficina Nacional de Normalización, 2012) como el parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

La Incertidumbre es una medida cuantitativa de la calidad del resultado de medición, que permite que los resultados de medida sean comparados con otros resultados, referencias, especificaciones o normas (CEM et al., 2008).

- **Histéresis**

De acuerdo con (Moyano, 2005) es la diferencia que se obtiene en la respuesta del instrumento de medida en función del sentido en que se ha alcanzado la magnitud que se mide.

Es decir, es la diferencia en los valores determinados para un punto, en ascenso y descenso de la señal de entrada.

El error, la incertidumbre, la exactitud, el intervalo de medida y la histéresis, constituyen algunos de los parámetros metrológicos más importantes a considerar a la hora de efectuar la calibración de un instrumento o sistemas de medidas.

El conocimiento de estos conceptos, por sí solo, no constituye la única esencia para desarrollar de manera eficaz el proceso de calibración, sino que también hay que considerar la responsabilidad asociada a esta importante actividad por parte de las empresas comprometidas con brindar este servicio.

A continuación se aborda de manera general, los aspectos fundamentales relacionados con la responsabilidad de la función metrológica en las empresas y entidades, haciendo hincapié en la Empresa ATI – UEB “Villa Clara”.

1.4 Responsabilidad de la función metrológica en las empresas

Los instrumentos y sistemas de medida son elementos indispensables en un proceso industrial; llevar a cabo el control de la calidad y la supervisión de la planta son tareas que requieren, como premisa, una medición correcta. Es por ello que, para la puesta a punto de dichos instrumentos, calibración, ensayo, determinación de su posible error y análisis de su estado, es indispensable aplicar los métodos de medición correctos, que garanticen un proceso óptimo, efectivo y con la debida calidad (MetAs, 2007a).

Es en las propias empresas de calibración donde recae la responsabilidad metrológica de minimizar los errores fuera de tolerancias y garantizar que se mantengan los instrumentos de medida dentro de los límites permisibles.

La Empresa ATI – UEB “Villa Clara” es una empresa territorial, perteneciente a la Unión Nacional Eléctrica (UNE), responsabilizada con el objeto social de complementar el soporte técnico al Sistema Electroenergético Nacional para garantizar su operación eficiente y desarrollo tecnológico.

Este centro elabora y ejecuta, mediante un sistema integrado de gestión, las políticas de desarrollo, instalación, mantenimiento y puesta en marcha de las Tecnologías de la Información y la Automática para la UNE, con la fiabilidad y disponibilidad requeridas.

La Empresa ATI – UEB “Villa Clara” cuenta con laboratorios de metrología dotados de la infraestructura material necesaria y de personal calificado para emitir certificados de calibración de instrumentos de medida en las magnitudes de presión, temperatura, eléctricas, físico-químicas y de radio. Las actividades de calibración que se desarrollan en dicha entidad, responden a las instrucciones elaboradas en el centro para este fin; y se basan en métodos de medición normalizados, en su mayoría por comparación directa con las indicaciones del patrón, las cuales han sido validadas. Para el caso que se analiza, la instrucción de calibración, utiliza como referencia la Norma Internacional IEC 61298-2:2008 (ATI, 2012).

Para llevar a cabo el procedimiento de calibración, es necesario contar con los denominados instrumentos patrones, sin los cuales no sería posible efectuar la comparación directa del instrumento objeto de calibración.

Se entiende por patrón de medida a la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia (Oficina Nacional de Normalización, 2012).

Un patrón se utiliza frecuentemente como referencia para obtener valores medidos e incertidumbres de medida asociadas para otras magnitudes de la misma naturaleza, estableciendo así la trazabilidad metrológica, mediante calibración de otros patrones, instrumentos o sistemas de medida (Oficina Nacional de Normalización, 2012).

Según (Vaisala, 2006), al efectuar la selección del equipamiento e instrumento patrón se debe tener en cuenta el método de calibración elegido y la exactitud requerida.

- Exactitud, la referencia elegida tiene que ser suficientemente exacta para la calibración que se pretende realizar, cumpliendo las relaciones establecidas entre el instrumento de medida a calibrar y el instrumento de medida patrón.
- Intervalo de medida, el intervalo de medida del patrón seleccionado debe cubrir completamente el intervalo necesitado para la calibración.
- Transportación: Se deben tomar las medidas para garantizar la conservación del instrumento patrón.
- Utilidad, la referencia debe adecuarse al uso que se le pretende dar.

En tal sentido, en cualquier país del mundo resulta indispensable conocer además las principales normas y reglamentaciones establecidas para desarrollar actividades de metrología, lo que se esclarece en el próximo epígrafe.

1.5 Normas y Reglamentaciones

Las normas y reglamentaciones establecen los estándares nacionales así como organizan el proceso metrológico a escala nacional, afianzándose siempre a las normas instituidas por la Organización Internacional de Normalización (ISO).

En nuestro país existe la Oficina Nacional de Normalización (NC), que es oficialmente el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba, la cual representa ante organizaciones internacionales y regionales de normalización (Oficina Nacional de Normalización, 2012).

La Oficina Nacional de Normalización se responsabiliza en elaborar las distintas normas sobre las cuales se desarrollará la metrología en nuestro país, entre ellas podemos mencionar: la NC-ISO 1000:2007 (Oficina Nacional de Normalización, 2007), la NC-OIML V2 (VIM) (Oficina Nacional de Normalización, 2012), así como la NC-1:2005 (Oficina Nacional de Normalización, 2005).

Estas normas, unidas al Decreto Ley 183: 1998 “De la metrología” constituyen parte importante de las disposiciones, tanto legales como técnicas, que actualmente están en vigor y son de estricto cumplimiento, por todas las entidades y empresas nacionales que se dedican a la labor de la metrología.

A partir de todos los elementos valorados en este capítulo, podemos afirmar la gran importancia que reviste el proceso de calibración de instrumentos y sistemas o cadenas de medida para garantizar la calidad en las lecturas que brindan los mismos, y aparejado a ello su confiabilidad.

Los aspectos generales aquí tratados, constituyen la base para el estudio de las instrucciones para la calibración, que serán tratados en el Capítulo 2, y el posterior diseño del software para asistir los procesos de calibración desarrollados por la Empresa ATI – UEB “Villa Clara”, al cual dedicaremos el Capítulo 3 del presente informe de investigación.

1.6 Conclusiones del Capítulo

1. La revisión bibliográfica efectuada arrojó como resultado la importancia de dominar las instrucciones de calibración y conceptos asociados, a la hora de llevar a cabo las actividades de metrología en sentido general.
2. Se identifica la responsabilidad de la función metrológica en las empresas, y de manera particular la relacionada con la Empresa ATI – UEB “Villa Clara”.
3. Las normas y reglamentaciones son necesarias de conocer y dominar, como basamento técnico y legal a cumplimentar por las entidades y empresas nacionales que se dedican a la labor de la metrología.

CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN

Los instrumentos de medida, así sean los de mayor confiabilidad, carecen de estabilidad absoluta, o sea, pueden desviarse y perder su capacidad de dar mediciones exactas haciendo necesaria su calibración. Existen diversos factores que pueden incidir en estas desviaciones: golpes, vibraciones, inclemencias ambientales así como el uso continuado.

En este capítulo se profundiza en los principales procedimientos para la calibración, las principales variables estadísticas que se deben considerar, la metodología a seguir y posteriormente los criterios de conformidad a tener en cuenta durante el proceso de calibración.

2.1 El proceso de calibración

Al desempeñar un proceso de calibración, deben quedar definidos los requerimientos para la calibración, los cuales son comúnmente establecidos localmente por regulaciones, legislaciones, expectativas del cliente o necesidades propias del instrumento (Vaisala, 2006); entre estos requerimientos se pueden citar: condiciones de temperatura, humedad, presión, rango e incertidumbre del instrumento, error máximo permitido, precisión de la medición, etc.

Para asegurarse de que el instrumento de medida es conforme a los requisitos correspondientes, se requiere de un conjunto de operaciones que se denomina confirmación metrológica; aquí se incluye la calibración, verificación, ajustes o reparaciones necesarias, la comprobación con los requisitos de uso, el sellado y el etiquetado del instrumento (ATI, 2012).

Sin embargo, esta confirmación no se logra hasta que se realice una demostración y documentación de que el instrumento se encuentra en condiciones adecuadas para el uso; esto se comprueba mediante el proceso de verificación comparando los resultados obtenidos con los especificados (ATI, 2012).

Como parte del proceso de calibración y para dar cumplimiento a la confirmación metrológica, el equipo ha de ser sellado para proteger la integridad de los ajustes de calibración, así como, ha de emitirse un certificado de calibración, donde se presente el desempeño del instrumento, sistema o cadena de medida, en el momento que se realizó la calibración y condiciones bajo las que se encontraba (Vaisala, 2006).

Sin embargo, es mediante el uso de métodos estadísticos que se determina la aptitud del instrumento (MetAs, 2005), por lo que se hace necesario conocer cuáles son las variables estadísticas que se deben tener en cuenta.

2.2 Variables estadísticas asociadas a los procesos de calibración de instrumentos de medida

Al desarrollar el proceso de calibración de instrumentos de medida se tienen en cuenta variables estadísticas que juegan un papel fundamental en la determinación de las capacidades del instrumento. Entre estas variables se pueden mencionar: la incertidumbre estándar combinada, la incertidumbre expandida, el error absoluto, el error máximo permisible, entre otras.

2.2.1 Cálculo de incertidumbres

De acuerdo con el procedimiento empleado en la Empresa ATI – UEB “Villa Clara”, para llevar a cabo la determinación de las incertidumbres se hace necesario desarrollar una serie de pasos:

A. Definición del mesurando e identificación de las magnitudes de entrada.

Donde se expresa la dependencia del mesurando con las magnitudes de entrada, se tienen en cuenta las posibles correcciones.

B. Establecimiento del modelo matemático.

Donde se establece la relación entre la magnitud de entrada y la de salida. En los laboratorios de ATI – UEB “Villa Clara” el modelo matemático típico es una

ecuación que indica la expresión utilizada para la determinación del error de indicación, expresado como error absoluto (E):

$$E = \text{Lectura del I} / M - \text{Lectura del Patrón.}$$

C. Identificación de las posibles fuentes de incertidumbre.

Donde se confecciona una lista con las posibles fuentes de incertidumbre que pueden influir en el resultado de la medición, aun cuando estas parezcan ser insignificantes.

D. Asignación de distribución a las fuentes de incertidumbre.

Se define si las fuentes de incertidumbre siguen una distribución normal, triangular o rectangular. A continuación se indica cómo se obtiene el valor de incertidumbre en cada caso.

D.a Distribución normal

Es aquella que al graficar los datos obtenidos es muy probable que la mayor parte de los datos los encontremos en una zona concentrada y que los restantes cada vez se vayan dispersando más y más en los extremos y tiene forma de campana.

Cuando se dispone de valores de una incertidumbre expandida U y la distribución del mensurando se supone normal la incertidumbre estándar es:

$$u(x_i) = \frac{U}{k}$$

Donde:

U : Incertidumbre expandida.

k : factor de cobertura, generalmente se toma $k = 2$ para un nivel de confianza de 95%.

D.b Distribución rectangular

Es aquella donde existe la misma probabilidad de que el valor se localice en un intervalo dado, cuando exclusivamente hay conocimiento de los límites superior a_+ e inferior a_- del intervalo de variabilidad de la magnitud de entrada, el estimado está dado por la ecuación:

$$u(x_i) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{12}}$$

Pero si la diferencia entre los límites se denota por $2a$, es decir, $(a_+ - a_-) = 2a$, entonces:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

D.c Distribución triangular

Es aquella donde existe conocimiento de los límites superior e inferior, existe evidencia de que la probabilidad es más alta para valores en el centro del intervalo y se reduce hacia los límites, el estimado está dado por la ecuación:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{6}}$$

E. Evaluación de las posibles fuentes de incertidumbre.

E.a Variación en observaciones repetidas.

Esta evaluación se basa en la denominada evaluación tipo A, que se efectúa cuando se realizan series de mediciones; esta evaluación por lo general sigue una distribución normal. Esta fuente de incertidumbre se determina para cada punto como:

$$u_2 = t * S(\bar{X})$$

Donde:

t : Factor “t” de la Tabla 2.1, basado en la distribución “t” de Student.

n : Número de mediciones.

n	2	3	4	5	6	7	8
t	6.5	2.2	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2

Tabla 2.1 Distribución t de Student.

$S(\bar{X})$: Desviación estándar experimental de la media.

$$S(\bar{X}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}$$

E.b Asociada al error máximo permisible del patrón.

Se utiliza cuando no se emplean las correcciones en el I/M patrón para realizar las mediciones. Se considera una distribución rectangular y se calcula como:

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

Donde:

EMP : error máximo permisible, sea absoluto o relativo.

- i. Asociada a la apreciación o resolución en el dispositivo indicador.

Se considera una distribución rectangular y se calcula como:

- Si el instrumento de medición es Digital:

$$uc_{(Res)} = \frac{Res}{\sqrt{12}}$$

Donde:

Res: La resolución del instrumento de medición.

- Si el instrumento de medición es Analógico:

$$uc_{(Aprec)} = \frac{n * vd}{\sqrt{12}}$$

Donde:

n: Número de subdivisiones.

vd : Valor de una división.

E.c Asociada a la deriva máxima del patrón.

La componente de incertidumbre estándar debida a la deriva máxima (D_{max}) del patrón se determina considerando una distribución rectangular a partir de la ecuación:

$$u_{(D_{max})} = \frac{D_{max}}{\sqrt{3}}$$

F. Estimar correlación entre las variables.

Pues las variables son independientes cuando la probabilidad asociada a una de ellas no depende de la otra.

G. Calcular la incertidumbre estándar combinada

Para el cálculo de esta fuente de incertidumbre se utiliza la Ley de propagación de incertidumbres.

G.a Si no existe correlación entre las variables se determina como:

$$uc(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u(x_i)^2}$$

G.b Si existe correlación entre las variables se determina como:

$$u^2(y) = \left(\sum_{i=1}^n u(x_i)^2 \right) + 2 * \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{df}{dx_i} \frac{df}{dz_j} u(x, z)$$

H. Determinación de la incertidumbre expandida.

$$U_{(e)} = k * uec$$

Donde:

$k = 2$ (factor de cobertura)

I. Expresión del resultado de la medición

$$E_a = \text{Error encontrado} \pm U$$

2.2.2 Cálculo de los errores

- **Para el cálculo de error máximo permisible**

El error máximo permisible del sistema en caso de no conocerse en su conjunto, se determina tomando en cuenta los errores máximos permisibles de cada uno de los elementos que conforman el sistema de la forma:

$$emp_{sist} = \sqrt{emp_1^2 + emp_2^2 + emp_3^2 \dots + emp_n^2}$$

- **Para el cálculo del error en las mediciones**

Cuando se realiza más de un ciclo de mediciones es necesario calcular la media aritmética de las mediciones realizadas en ascenso y descenso. En instrumentos de medida de indicación digital el error para cada punto se determina como:

$$E = Vx - \overline{Vp}$$

Siendo:

E: Error en unidades de la magnitud a medir

$\overline{Vp}$: Valor *promedio* de las indicaciones del patrón en el punto seleccionado.

Vx: Indicación fijada en el visualizador de salida del sistema.

- **Para el cálculo del error de accionamiento de las alarmas y/o disparos**

El error de accionamiento (E_a) de la alarma y/o disparo se determina como:

$$E_a = V_N - \overline{I_a}$$

Donde:

V_N : Es el valor nominal de comprobación

$\overline{I_a}$: Es el valor promedio del accionamiento de la alarma y/o disparo, en ascenso y descenso

2.3 Metodología a seguir durante el proceso de calibración

Para desarrollar una correcta calibración es necesario seguir una metodología, donde se toman en cuenta, en primer lugar, las condiciones para la realización de la calibración. Entre estas condiciones se pueden mencionar: la necesidad de personal capacitado y autorizado para desempeñar las calibraciones, el fijar la temperatura y humedad de trabajo de acuerdo a las condiciones de funcionamiento del patrón, la disponibilidad de documentación y asesoría necesaria para la identificación de las señales a medir, el previo ajuste y comprobación del sistema o cadena de medida, la inexistencia de vibraciones donde se encuentren los instrumentos de medida y la realización de las mediciones en parada de los procesos.

En segundo lugar, se debe efectuar la selección de la capacidad de medición requerida. En dependencia de los tipos de instrumentos que se quieren calibrar se escogen los calibradores multifuncionales para la medición y generación de señales de intensidad de corriente, tensión, temperatura, presión, etc., que cumplan la relación expresada para la idoneidad del método para cada una de las magnitudes e intervalos a medir. Hoy en la Empresa ATI – UEB “Villa Clara” se utiliza el método de relaciones entre las clases de exactitud donde el patrón debe ser al menos tres veces más exacto que el instrumento de medida que se calibra.

El proceso de calibración comienza con la realización del examen exterior del sistema de medida, comprobando que todos los elementos estén debidamente conectados, que puedan ser identificados, posean número de serie, que los bornes de conexión y los medios de transmisión de las señales estén en buen estado y que la indicación de salida pueda ser observada con claridad.

De esta forma, comienza el proceso de calibración tomando el conjunto de todos los elementos que componen la cadena o el sistema de medida y donde participan dos técnicos: uno ubicado en el campo, que será el encargado de simular las señales a la entrada del sistema de medida, y otro ubicado donde se encuentre el elemento que visualiza la medida, puede ser un instrumento de medida analógico o digital; éste técnico es quien anota las indicaciones leídas. Entre ambos técnicos existe comunicación, manejando los medios apropiados, para sincronizar el inicio de las mediciones.

El método que se emplea es el de comparación directa con las indicaciones del patrón, en correspondencia con lo establecido en la norma IEC 61298-2:2008.

Continúa el proceso de calibración con la **comprobación de los ajustes**, para lo cual se realiza una comprobación de los valores extremos de la variable (cero % y 100 % de la escala) para determinar el ajuste correcto del cero y el rango.

Para la **determinación de los errores de indicación** se incluye el sensor siempre que sea posible, para ello se aplica la señal proveniente del instrumento de medida patrón directamente al sensor, estando en presencia de un sistema de medida con todos sus elementos. Cuando no es posible incluir el sensor, se abre el circuito y se aplica la señal de entrada al elemento siguiente, estando en presencia de una cadena de medida.

Para determinar los **errores de accionamiento de las alarmas y/o de los disparos**, las mediciones se realizan teniendo en cuenta los valores en que se desea accione la señal de alarma y/o disparo, tanto por alta como por baja y se aplica lentamente el valor de la variable que acciona la alarma y/o disparo. Esta operación se realiza mediante un suave aumento (Ascenso) y disminución de los valores (Descenso).

Para determinar la **zona muerta**, se miden los puntos correspondientes al 25%, 50% y 75% del intervalo de medida de la escala, en ascenso o descenso. El valor máximo de las diferencias entre ascenso y descenso obtenidas para cada uno de los puntos, da por resultado el valor de la zona muerta y se da en por ciento (%) del valor de la escala.

Una vez definidas las condiciones que garantizan la eficacia de la calibración, entonces se procede a realizar las corridas y tomas de datos.

2.3.1 Corridas y tomas de datos

La calibración se lleva a cabo mediante el incremento y decremento de las mediciones, o sea, en ascenso y descenso. El número de puntos a seleccionar, así como los ciclos a realizar son seleccionados estableciendo un compromiso entre la objetividad, relevancia, costo y dificultades técnicas de las mediciones a realizar.

Con el objetivo de chequear la parte inicial, media y final de las mediciones se seleccionan tres puntos el 25%, el 50% y el 75% del intervalo de la señal de entrada, sin incluir el cero ni el 100% del intervalo de medida.

Se comienza incrementando el valor de la señal de entrada hasta el porcentaje inicial seleccionado, transcurrido un tiempo prudencial para la estabilización de la señal se anotan en un registro con el formato indicado en el Anexo 1, los valores de las señales de entrada y salida, o sea, las indicaciones en el calibrador y en el indicador del sistema de medida que se está calibrando; posteriormente se incrementa hasta el nuevo valor seleccionado y se espera un tiempo prudencial para la estabilización de la señal y se anotan en el registro los valores que se visualizan en ambos instrumentos de medida; el proceso se repite hasta llegar al valor final seleccionado para la prueba.

Luego se aumenta la señal de entrada en un porcentaje por encima del valor seleccionado para el último punto a probar y se comienza a descender tomando la primera lectura una vez estabilizado el valor en el último punto seleccionado y se repite el proceso desarrollado anteriormente hasta llegar al punto inicial seleccionado.

Si se desea realizar más de un ciclo de mediciones, entonces el proceso anterior se repite tantas veces como ciclos seleccionados. Hoy en día los técnicos de la Empresa ATI – UEB “Villa Clara”, realizan cuatro mediciones a cada punto a calibrar, o sea dos ciclos.

Una vez realizada la toma de datos se introducen en las mencionadas hojas de cálculo de Excel existentes en la Empresa ATI – UEB “Villa Clara”, donde dichos datos son procesados para obtener los correspondientes valores de incertidumbre y errores, respondiendo a los procedimientos y fórmulas mencionadas en el epígrafe 2.1, y prestando especial atención a los criterios de conformidad.

2.4 Criterios de conformidad

Los criterios de conformidad constituyen un eslabón importante en el proceso de calibración, puesto que una vez determinadas las variables estadísticas que resultan del procesamiento de los datos es necesario comprobar si son confiables y si están dentro de los límites posibles (Gowrisankar and Abbulu K., 2010).

Criterio de conformidad de los errores

Este criterio de conformidad consiste en que la suma de los valores absolutos de cada uno de los errores obtenidos más los valores absolutos de cada una de las incertidumbres obtenidas, no deben exceder al error máximo permisible del sistema.

Criterio de conformidad para la zona muerta

Este criterio plantea lo siguiente: si el valor de la zona muerta es especificado por el fabricante, el mismo se anota junto al obtenido en la práctica y luego se compara con el obtenido en la práctica, de donde debe resultar que el obtenido en la práctica ha de ser menor o igual que el dado por el fabricante.

De esta forma, con los aspectos abordados anteriormente quedan creadas las bases estadísticas y matemáticas para el diseño del software que asista al proceso de calibración en la Empresa ATI – UEB “Villa Clara”, tarea que es desarrollada a continuación en el Capítulo 3 del presente informe de investigación.

2.5 Conclusiones del Capítulo

1. En la Empresa ATI – UEB “Villa Clara” los procesos de calibración siguen una metodología que garantiza un proceso óptimo, al tener en cuenta todas las posibles fuentes que pueden afectar al mismo dando instrucciones específicas al respecto.
2. Los criterios de conformidad definen si el instrumento se encuentra apto para el uso, por ello es imprescindible la comparación de los mismos con los cálculos estadísticos realizados.

CAPÍTULO 3. SOFTWARE PARA ASISTIR AL PROCESO DE CALIBRACIÓN

De acuerdo con la definición de *software* establecida por la Real Academia Española, se puede señalar que consiste en el equipamiento o soporte lógico de un sistema informático; el cual, mediante una interfaz gráfica de usuario garantiza la interacción hombre-máquina logrando un entorno visual sencillo y una interacción amigable con el sistema.

En el proceso de calibración se acopian una serie de datos que son necesarios para la identificación, evaluación y documentación del proceso. De esta manera, es necesario el desarrollo de un software que pueda ser utilizado como herramienta asistente a dicho proceso, empleando una interfaz afable, de fácil comprensión e interactiva.

En este capítulo se realiza un estudio de distintas plataformas de desarrollo de software, así como una evaluación de las mismas para seleccionar la más adecuada a emplear. Además se incursiona en los principales requisitos que el software debe cumplir, cómo se desarrolló el mismo, sus principales características, los resultados experimentales así como la evaluación crítica de la aplicación.

3.1 Estudio y evaluación de las plataformas de software candidatas. Ventajas y desventajas.

El software a diseñar tiene como objetivo ofrecer una interfaz gráfica de usuario afable, que pueda ser ejecutado en cualquier PC; para ello, es necesario determinar en cuál Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) se va a llevar a cabo la misma y cuál de estos responde a nuestros intereses.

Se dispone de varias alternativas, sin embargo, solo se tomarán en cuenta las siguientes: MATLAB, QtCreator y Microsoft Visual Studio; por lo que se analizará cada caso de forma independiente.

- **MATLAB**

Asistente matemático donde el trabajo con matrices, representación de funciones, implementación de algoritmos, creación de interfaces de usuario (GUI), comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos de hardware son posibles, por lo que se toma en cuenta como posible alternativa para desarrollar esta interfaz (Jalón et al., 2005).

Sin embargo, incluso estando familiarizados con el software no es del todo factible para el caso a desarrollar, pues para poder ejecutar la aplicación en otra PC se debe instalar el MATLAB Runtime Environment, un Matlab virtual que facilitaría la ejecución de la aplicación (Guerrero, 2004). De cualquier forma, dicha instalación implicaría una limitación para el usuario por las complicaciones que esto pudiese conllevar, además se ocuparía memoria de forma innecesaria.

- **Qt Creator**

Es un IDE que se especializa en el desarrollo de aplicaciones multiplataforma ya sea en Windows, Linux o Mac (Albán, 2006).

Entre las principales características de QtCreator se pueden mencionar que: posee un avanzado editor de código C++, soporta los lenguajes: C#/.NET Languages (Mono), Python, Ada, Pascal, Perl, PHP y Ruby, posee una GUI integrada y diseñador de formularios, ayuda sensible al contexto integrada, depurador visual, resaltado y auto-completado de código.

- **Microsoft Visual Studio**

Permite crear aplicaciones de usuario y servicios web en cualquier sistema que soporte la plataforma .NET, que entre las plataformas de desarrollo de aplicaciones está entre las más robustas en la actualidad y utilizadas en el mundo.

Visual Studio ofrece una serie de herramientas para los desarrolladores, funcionalidad en base de datos y características innovadoras para la creación de aplicaciones en una variedad de plataformas, así como desarrollo rápido de aplicaciones, colaboración eficiente entre equipos, innovación en experiencias de usuario (Ecured, 2012).

Sin embargo al implementar una aplicación conectada a Microsoft.NET como lo hace Visual Studio, el equipo de destino debe tener instalado la versión equivalente de .NET Framework en la que se realizó el software, si esta condición no se cumple la aplicación podrá ser ejecutada. Sin embargo, las versiones de .NET Framework son distribuibles y su actualización es incluso beneficiosa para el sistema, dado que ayuda en la ejecución estable de otros softwares instalados (Microsoft, 2010).

Una vez analizadas las posibles opciones, se escoge finalmente Microsoft Visual Studio 2008, es necesario aclarar que pudo haberse escogido cualquiera de las otras dos opciones pues son igualmente estables y funcionales para lo que se quiere desarrollar. Aunque con esta elección la aplicación desarrollada sólo podrá ser ejecutada en PCs con sistemas operativos Windows, no resulta del todo una limitante pues en nuestro país se hace uso en gran mayoría de este sistema operativo.

Luego es necesario conocer los requisitos y prestaciones que se deben tener en cuenta antes de proceder al diseño del software.

3.2 Requisitos y prestaciones asociadas al procesamiento de los resultados derivados del proceso de calibración.

Este software pretende constituir una herramienta asistente al proceso de calibración, pero también para el propio usuario, es por ello que se facilitan diversos datos que pueden ser de interés para el mismo, por ejemplo: los patrones existentes y sus características, las posibles denominaciones de los sistemas o cadenas de medida conjuntamente con sus unidades de medida de acuerdo con el SI, entre otros.

En segundo lugar se persigue la determinación de los errores de indicación, de la zona muerta, de las incertidumbres asociadas a la calibración y los criterios de conformidad, indicadores que el software obtiene utilizando las indicaciones obtenidas en cada ciclo en ascenso y descenso durante la ejecución de la calibración y aplicando las ecuaciones estadísticas correspondientes en cada caso.

Una vez insertados los datos de la cadena de medida, los del patrón a utilizar, las correcciones, las lecturas, así como obtenidas las incertidumbres y los criterios de

conformidad, se espera que todos estos queden reunidos y que desde el software puedan ser impresos y/o guardado.

De esta forma, una vez conocidos los requisitos del programa se puede proceder al diseño del software y de la interfaz gráfica de usuario.

3.3 Diseño de software y de la interfaz gráfica de usuario. Características.

A la hora de diseñar un software se debe definir la estructura que tendrá, cuál será la secuencia de ejecución y prever los posibles fallos de la aplicación por cuenta del usuario, es por ello que es necesaria la confección del diagrama de flujo, lo cual será abordado más adelante en el sub-epígrafe 3.3.1.

Para dar cumplimiento a los requisitos asociados al programa se decide crear una base de datos donde queden recogidos todos los datos indispensables para el trabajo del calibrador y relacionados con la cadena de medida, más adelante en el sub-epígrafe 3.3.2 se abarca con mayor profundidad cómo se constituyó la base de datos y cuáles son sus elementos.

Por otra parte, para el diseño de la interfaz gráfica se utilizaron las plantillas de Visual Studio 2008 para la creación de aplicaciones con una interfaz gráfica de usuario de Windows Forms y recurriendo al lenguaje de programación CSharp (C#). También se emplean las instrucciones SQL (*Structured Query Language* por sus siglas en inglés), un lenguaje para acceder a bases de datos relacionales mediante consultas de la misma naturaleza.

Para lograr un correcto funcionamiento del software, el sistema donde será ejecutado debe cumplir los siguientes requisitos:

- Sistema operativo: Microsoft Windows a 32bits
- Plataforma .NET Framework en su versión 3.5
- Debe tener instalado Crystal Report, para generar reportes
- Formato de número con símbolo decimal equivalente a la coma (", ") y símbolo de separación de miles empleando el punto (" . ")

3.3.1 Diagrama de flujo

Antes de comenzar a programar, es imprescindible, como paso inicial elaborar el diagrama de flujo donde se representa el flujo de ejecución del programa, se favorece la comprensión del proceso y las oportunidades de mejora del mismo.

En este caso, el diagrama de flujo fue confeccionado haciendo uso de Microsoft Office Visio, donde se brinda una representación gráfica del algoritmo. El diseño del diagrama se incluye en el Anexo 2.

Una vez representado el algoritmo al que responderá el software a diseñar, es necesario confeccionar la base de datos donde se almacenarán todos los datos y resultados del proceso de calibración.

3.3.2 Diseño de la base de datos

La base de datos fue creada en Microsoft Office Access, programa que permite gestionar bases de datos relacionales, manipular los datos en forma de tablas y crear consultas. Cada una de estas tablas constituyen un conjunto de datos acerca de un tema en particular, y se representan en columnas (que constituyen los campos) y filas (que son los registros).

Sin embargo, no todos los campos poseen el mismo tipo de datos, por ejemplo: tipo texto, moneda, fecha, número, entre otros; por lo que a cada campo se les debe definir el tipo de dato y si se requiere que sean únicos, para así conocer:

- Los valores permitidos en el campo (tipos de datos).
- La cantidad de espacio que Access reservará para el campo.
- Si podrá Access indexar u ordenar los valores del campo.
- Cuáles campos no han de admitir valores duplicados y de estos, cuáles podrán ser empleados como clave para realizar filtros.

Luego, la información se organiza en tablas, en este caso:

- Patrones: en esta tabla se recogen todos los datos de los instrumentos patrones. Características como nombre, número de serie, si poseen módulo externo y en caso de ser positivo pues el número de serie del módulo, rango y "calibrado conforme a".
- Tipo de Cadena de Medida: esta tabla incluye las posibles denominaciones que pueden tener los sistemas y cadenas de medida, por ejemplo: Temperatura.

- Unidades de medida: en esta tabla se acopian las unidades de medida, haciendo uso de dos campos, denominación y unidades de medida, de forma tal que puedan ser filtradas en caso de solo necesitar las unidades de medida de Temperatura, por ejemplo.
- Características de la Cadena de Medida: esta es la tabla que maneja la mayor cantidad de datos, pues aquí se recogen todas las características de la cadena de medida.

Los campos presentes en esta tabla son: número de acta de calibración, denominación, número de elementos, indicación, sensor, alarmas, protecciones, variables como error máximo permisible (Emp), Valor nominal mínimo de Entrada (VmínI), Valor nominal máximo de Entrada (VmáxI), Valor nominal mínimo de Salida (VmínO), Valor nominal máximo de Salida (VmáxO), el patrón empleado, "perteneciente a", fecha de calibración, temperatura ambiente, humedad, técnicos que desarrollan la calibración, fecha de emisión, el jefe de laboratorio, si se usan correcciones, incertidumbre, deriva, los valores de correcciones o los Emp, condiciones ambientales controladas, corrección por temperatura.

- Trabajadores: aquí se recogen los nombres y apellidos de los técnicos y jefes de laboratorio que participan y/o aprueban la ejecución de la calibración.

En este caso se emplean dos campos, el de cargo y el de nombre, y así poder utilizar más adelante el campo cargo como parámetro de filtraje y luego solo mostrar los técnicos o los jefes de laboratorio según las preferencias del usuario.

- Calibrado conforme a: en esta tabla se agrupan los métodos vigentes por los que se realizan las calibraciones. Estos métodos pueden estar sujetos a cambios.
- Lecturas y cálculos: en esta tabla se recogen todas las lecturas implicadas en el proceso de calibración conjuntamente con los valores resultantes del tratamiento estadístico, díganse errores, incertidumbres y criterios de conformidad.

A cada una de estas tablas, el software tendrá acceso organizadamente utilizando "consultas". Las consultas son "preguntas" que se plantean sobre la información contenida en las tablas. Estas pueden ser de selección, de referencia cruzada, de acción, de unión, de paso a través y de definición de datos. En este caso, se emplearon consultas de selección y de acción para insertar, eliminar, modificar y seleccionar datos en la base de datos desde el

software utilizando instrucciones SQL, en el Anexo 3 se pueden apreciar las relaciones entre las tablas de la base de datos.

3.3.3 Diseño del software

El software está organizado en una serie de pantallas o formularios, donde paulatinamente se introducen los datos, se procesan y posteriormente se almacena la información recopilada. El diseño se dispuso del siguiente modo.

Primeramente, el usuario introduce los datos, respetando el orden en que estos se deben disponer. Como criterio de diseño se manejan excepciones, que son mensajes que indican posibles errores, por ejemplo:

- Campos que no se admiten vacíos.
- Tipos de datos que sean diferentes a los aceptados (datos de tipo string, double, int).
- Valores que pueden crear registros duplicados en la base de datos afectando la estabilidad del programa.

También se diseñó un formulario desde donde se puede tener acceso directo a la base de datos, dando posibilidad de agregar o eliminar elementos existentes como: instrumentos patrones, unidades de medida, entre otros.

En segundo lugar, durante la ejecución de la calibración, se introducen los valores de las indicaciones, que son las que se utilizan para los cálculos de incertidumbre, errores y determinación de los criterios de conformidad manejándose igualmente excepciones durante entrada de datos. Aquí los cálculos se realizan empleando las ecuaciones descritas en el epígrafe 2.1 y se deja abierta al usuario la introducción del factor de cobertura (k) para el cálculo de la incertidumbre expandida.

Una vez en este punto, se presenta la vista previa del certificado que se emitirá con los datos y resultados necesarios, una vez chequeado ofrece la oportunidad de imprimir el mismo, cuyo formato puede apreciarse en el Anexo 4 (MetAs, 2007b). Luego entonces, se presenta un formulario final donde es opcional salvar toda la información en la base de datos. Esta acción de guardado se realiza al finalizar el procedimiento, previendo cambios intermedios que afecten la base de datos y produzcan errores que puedan desestabilizar el funcionamiento del software.

A continuación se presenta el resultado final del software diseñado, en la figura 1 se muestra la página principal del mismo.

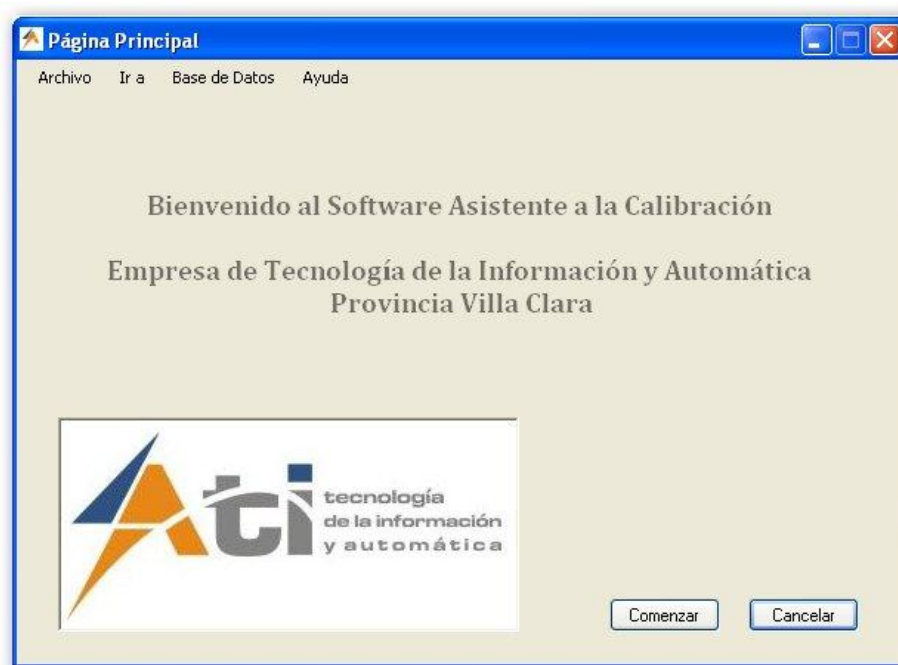


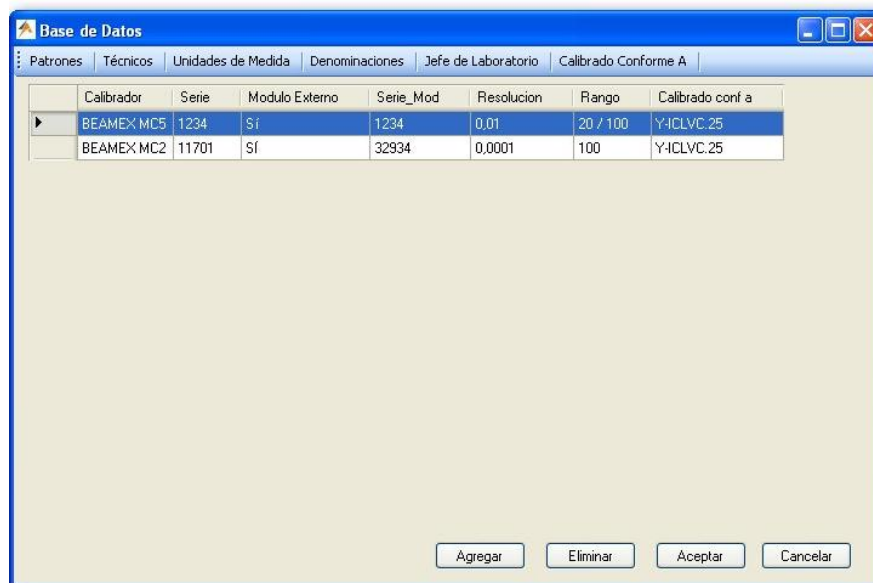
Figura 1. Página principal del software diseñado.

Como criterio de diseño fue añadido un menú contextual que puede ser apreciado en la figura 2, desde el cual se puede acceder a los datos almacenados en la base de datos.



Figura 2. Menú contextual para la presentación del contenido de la base de datos.

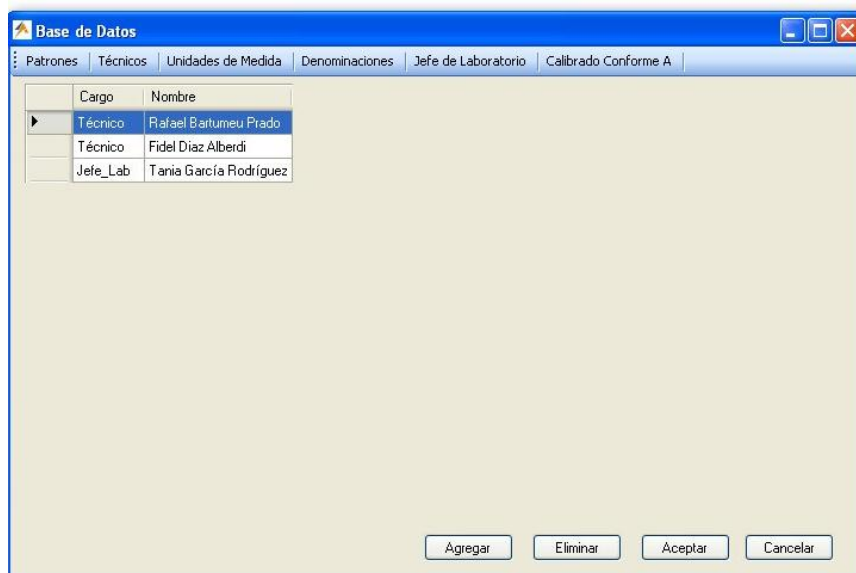
Luego en la figura 3 se muestra la ventana desde la cual se pueden observar detenidamente los datos que se encuentran almacenados en las distintas tablas de la base de datos, díganse Patrones (figura 3), Trabajadores (figura 4), Unidades de medida (figura 5), Denominaciones (figura 6) y Métodos de Calibración (figura 7).



Calibrador	Serie	Modulo Externo	Serie_Mod	Resolucion	Rango	Calibrado conf a
BEAMEX MC5	1234	Sí	1234	0,01	20 / 100	Y-ICLVC.25
BEAMEX MC2	11701	Sí	32934	0,0001	100	Y-ICLVC.25

Agregar Eliminar Aceptar Cancelar

Figura 3. Presentación de los Patrones.



Cargo	Nombre
Técnico	Rafael Bartumeu Prado
Técnico	Fidel Díaz Alberdi
Jefe_Lab	Tania García Rodríguez

Agregar Eliminar Aceptar Cancelar

Figura 4. Presentación de los Trabajadores.

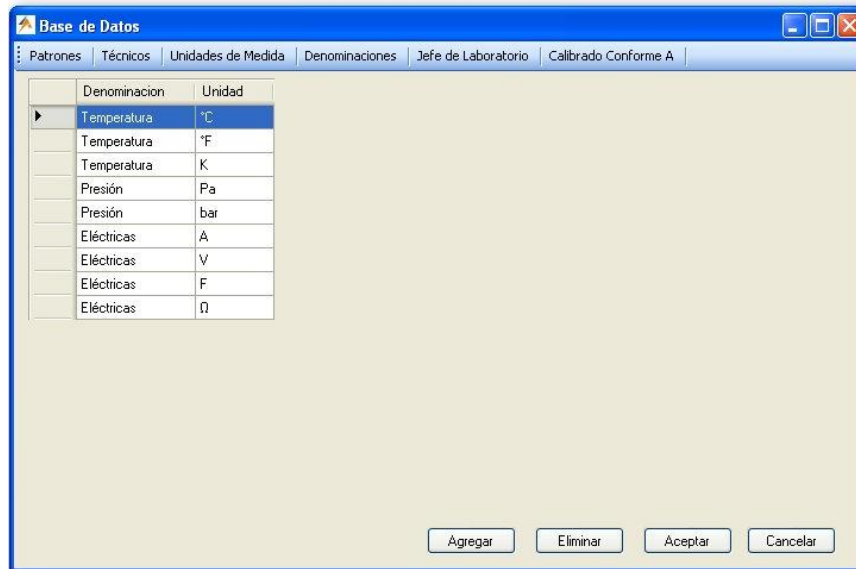


Figura 5. Presentación de las Unidades de Medida.

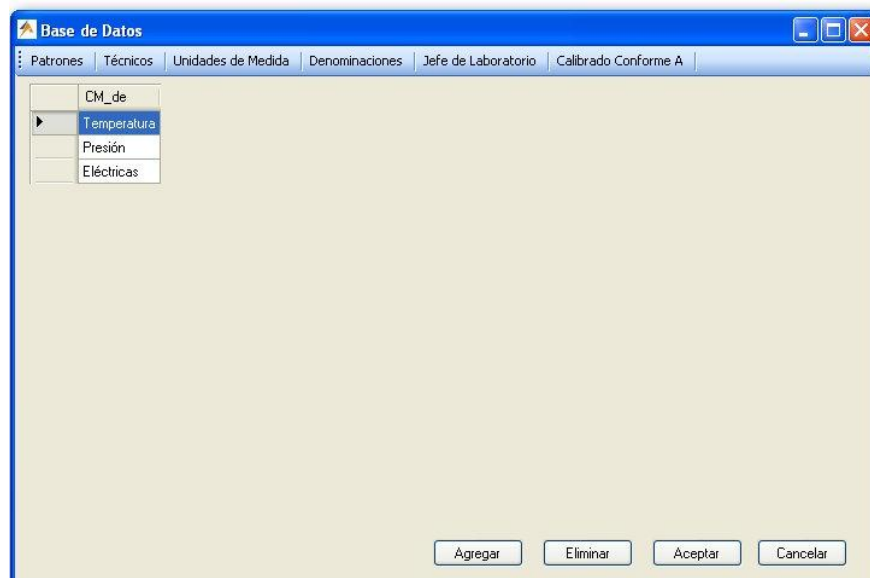


Figura 6. Presentación de las Denominaciones.

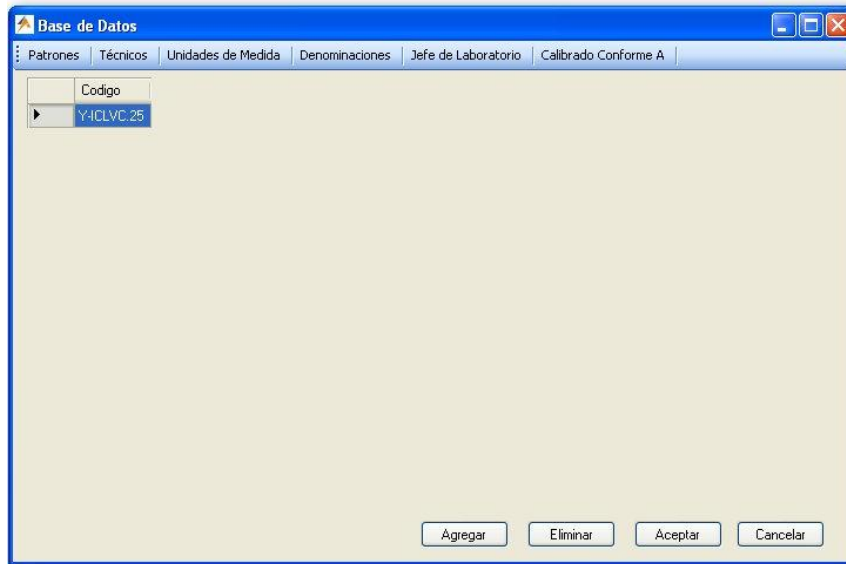


Figura 7. Presentación de los Métodos de Calibración.

Sin embargo, los valores de la base de datos pueden ser modificables pues responsablemente se pueden agregar nuevos registros y también eliminar algunos existentes empleando la ventana mostrada en la figura 8.

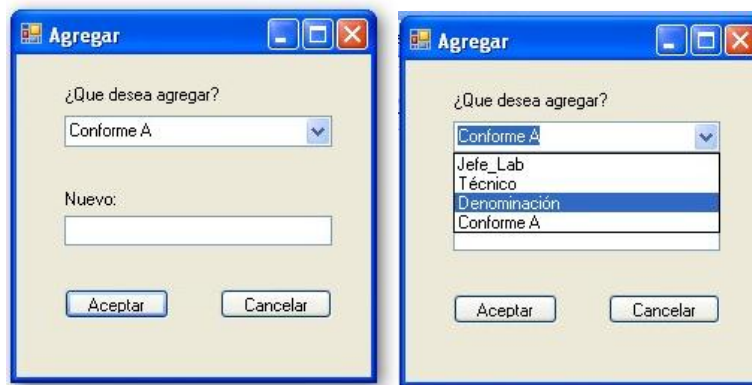


Figura 8. Agregando nuevos elementos a la base de datos.

Para mostrar las funcionalidades del software diseñado, se puede observar en la figura 9 cómo empleando un juego de datos que habían sido almacenados con antelación los mismos pueden ser reutilizados. Este es un proceso similar al que se realizará en la UEB, o sea: una vez calibrado un sistema o cadena de medida por primera vez utilizando el software y en una fecha determinada, luego de transcurrido un tiempo determinado el

mismo sistema o cadena de medida sea sometido a una nueva calibración y se reutilicen los datos de la calibración anterior como se muestra en las figuras 10 (a, b y c).

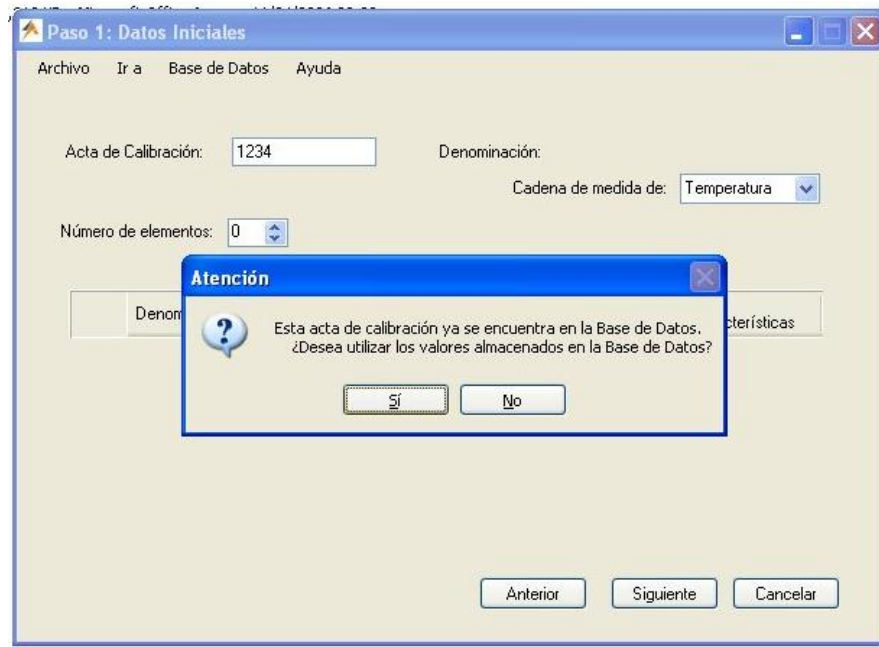


Figura 9. Utilizando datos existentes en la base de datos.

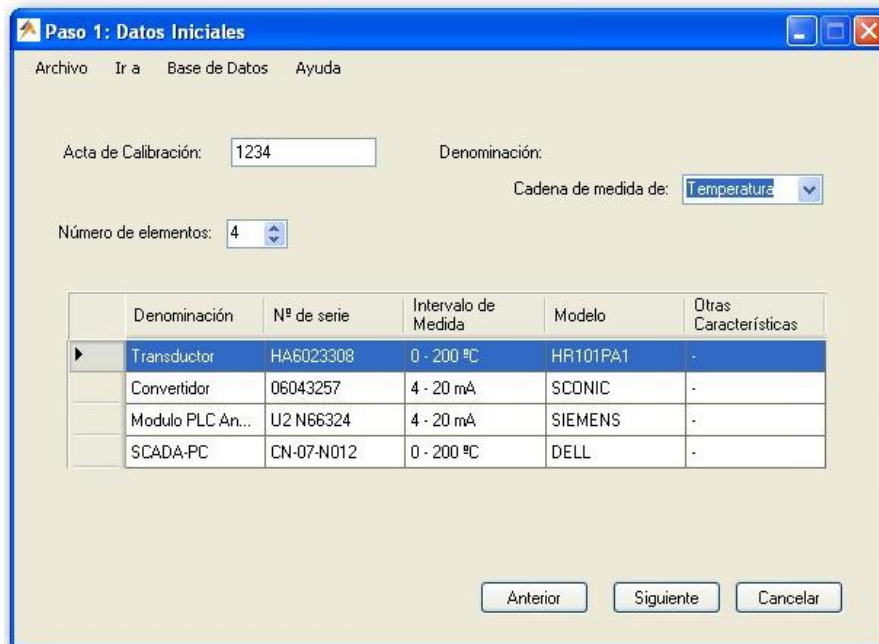


Figura 10(a). Cargando datos desde la base de datos.

Paso 1: Datos Iniciales

Archivo Ir a Base de Datos Ayuda

Datos de la Cadena de Medida

Indicación: ☒ Digital ☐ Analógico

Con sensor: ☐ Sí ☒ No

Con alarmas: ☒ Sí ☐ No

Con protección: ☒ Sí ☐ No

Resolución: 0,1 Error máximo permisible del sistema: 0,2 °C

Valor mínimo nominal de entrada: 0 °C

Valor máximo nominal de entrada: 40 °C

Valor mínimo nominal de salida: 0 °C

Valor máximo nominal de salida: 40 °C

Datos del Patrón

Calibrador: BEAMEX MC5

N de serie: 1234

Módulo externo: Sí Serie: 1234

Resolución: 0,01

Rango: 20 / 100

Calibrado conforme a: Y:ICLVC.25 [Agregar] [Borrar todo]

Datos Generales

Perteneciente a: Leya

Fecha de calibración: 25/04/2006

Temperatura: 25 °C Humedad Relativa: 0,8 %

Técnicos: Rafael Bartumeu Prado

Fidel Diaz Alberdi

Fecha de emisión: 01/05/2006

Aprueba el Certificado: Tania García Rodríguez

Jefe de Laboratorio

Correcciones

¿Se trabaja con correcciones? No

Valor Nominal de Entrada	Emp (%)
10	0.0125
20	0.015
30	0.0175

Deriva máx.: 0

Condiciones ambientales controladas: No

Corrección por temperatura: 23 %

[Anterior] [Siguiente] [Cancelar]

Figura 10(b). Cargando características desde la base de datos.

Paso 2: Cálculo de Incertidumbres

Archivo Ir a Base de Datos Ayuda

Factor de Cobertura (k): 2 [Recalcular]

Errores de Indicación

% del Rango	V. Nominal entrada	V. Nominal Salida	I Ciclo Ascenso	I Ciclo Descenso	II Ciclo Ascenso	II Ciclo Descenso	Promedio	Error	U (e)	Conformidad
25,0000	10	10,0000	9,991	9,991	9,991	9,991	9,9910	-0,0090	0,0595	Conforme
50,0000	20	20,0000	19,990	19,990	19,990	19,990	19,9900	-0,0100	0,0603	Conforme
75,0000	30	30,0000	29,990	29,990	29,990	29,990	29,9900	-0,0100	0,0612	Conforme

Determinación de la Zona Muerta

% del Rango	V. Nominal entrada	Indicaciones Ascenso	Indicaciones Descenso	Diferencias Ascenso	Diferencias Descenso	Zona Muerta	Zona Muerta % Escala	Incertidumbre
25,0000	10	10,025	9,075	-0,0250	0,9250	0,9500	2,3750	0,0204
50,0000	20	20,025	19,075	-0,0250	0,9250	0,9500		0,0245
75,0000	30	30,025	29,075	-0,0250	0,9250	0,9500		0,0286

Comprobación del accionamiento de la alarma

Valor Nominal	Ascenso	Descenso	Valor de accionamiento	Error	Incertidumbre
9,9	9,91	9,91	9,910	-0,0100	0,0144
19,9	19,91	19,91	19,910	-0,0100	0,0173
29,9	29,91	29,91	29,910	-0,0100	0,0202

Comprobación del error en las protecciones (disparos)

Valor Nominal	Ascenso	Descenso	Valor de accionamiento	Error	Incertidumbre
9,9	9,912	9,912	9,912	-0,0120	0,0144
19,9	19,912	19,912	19,912	-0,0120	0,0173
29,9	29,912	29,912	29,912	-0,0120	0,0202

[Anterior] [Siguiente] [Cancelar]

Figura 10(c). Cargando lecturas y cálculos desde la base de datos.

A continuación en la figura 11 se puede apreciar el modelo del certificado de calibración mencionado anteriormente, además como se están utilizando los datos de un acta de calibración que ya existía empleando Crystal Reports (Microsoft, 2012b, Microsoft, 2012a, Alvarado, 2010), se le exige al usuario que introduzca un nuevo valor de acta de calibración previendo errores de inserción en la base de datos en el momento de almacenar los datos como se muestra en la figura 12.

The screenshot shows a software window titled "Paso 3: Imprimir Certificado". It features a menu bar with "Archivo", "Ir a", "Base de Datos", and "Ayuda". Below the menu is a toolbar with various icons. The main area displays a form for a calibration certificate. The form includes the logo of "LABORATORIO DE CALIBRACIÓN EMPRESA DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y AUTOMÁTICA ATI Villa Clara" and contact information: "Dirección: Campo No. 1 s/ Prolongación de Independencia y Carretera Central, Santa Clara Villa Clara, Cuba. Teléfonos: (42) 21854; 227508. Fax: 291730". A circular accreditation logo on the right says "Y-SGL3 0202" and "Reg. No. 064". The form fields include: "CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No.:" followed by a blank line and "Página 1 de 2"; "Clasificación del Certificado: Simplificado ___ Con todos los resultados ___"; "Denominación: ___"; "Clase ó emp(ñ): ___"; "Intervalo de Medida: ___"; "Cliente: ___"; "Dirección: ___"; "Se certifica que la variable está: ___ Cumple, ___ No cumple, ___ No es posible declarar cumplimiento o no cumplimiento"; "Ha sido calibrado según: ___"; and "Método de medición empleado: ___". At the bottom, it shows "Nº de página actual: 1", "Nº total de páginas: 2", and "Factor de zoom: 100%". A red box highlights the "Nuevo Valor de Acta de Calibración" field with the value "1256". Navigation buttons "Vista Previa", "Anterior", "Siguiente", and "Cancelar" are at the bottom right.

Figura 11. Vista previa del certificado a emitir.

The screenshot shows a software window titled "Página Principal". It has a menu bar with "Archivo", "Ir a", "Base de Datos", and "Ayuda". The main area contains a message: "Gracias por emplear el Software Asistente a la Calibración. A continuación pulse Guardar para almacenar los datos en la Base de Datos. Atención: Si no pulsa Guardar, no se almacenará nada y perderá los cambios". Below the message is the ATI logo and the text "tecnología de la información y automática". At the bottom right are three buttons: "Guardar", "Anterior", and "Salir".

Figura 12. Guardar los datos.

Durante el proceso de diseño y mejora del software se realizaron distintas pruebas de funcionamiento las cuales sirvieron de gran ayuda para el perfeccionamiento del mismo (Mitchem, 2004). Sin embargo, es necesario profundizar en las mismas por lo que en el próximo epígrafe se enuncian varias de las pruebas así como se exponen resultados de las mismas.

3.3 Pruebas y resultados experimentales.

A medida que tomó lugar el diseño del software, el mismo estuvo sujeto a diversas pruebas, entre las que podemos citar:

- Una vez concluido el diseño se realizan varias pruebas y se comprueba que el software almacena correctamente en la base de datos todos los datos del proceso de calibración. Además, interactúa eficientemente con los demás datos incorporados a la base de datos y que complementan la información recopilada en el proceso de calibración.
- Al cumplir con un adecuado diseño el software se desempeña con carácter estable, dando a conocer al usuario sobre los posibles errores que puede cometer al introducir los datos así como resuelve informar al mismo sobre posibles errores de compatibilidad y/o capacidad de utilizar el software de forma óptima.
- El software fue sometido a pruebas de cálculo y desempeño empleando datos tomados de un proceso de calibración real.

Los resultados obtenidos con ayuda del software fueron satisfactorios, y se corresponden con los resultados derivados de los cálculos realizados en las hojas de cálculo para el proceso real.

- Por otra parte, el software evalúa correctamente el sistema o cadena de medida en los puntos donde se analizan, pues es capaz de determinar de forma precisa si cumple o no con los criterios de conformidad.
- Dado que, se cuenta con una base de datos donde las calibraciones que se realizan paulatinamente quedan almacenadas, es posible entonces la reutilización de los datos de las propias datos almacenados y observar la trazabilidad de la medición al poder comparar el valor obtenido en la última actividad metrológica con el de la calibración en proceso, demostrando la reusabilidad del software.

- El intercambio entre el software y la base de datos se desarrolla de forma adecuada, al poder agregar nuevos elementos, así como borrar otros existentes que ya no sean de utilidad para el usuario como por ejemplo: unidades de medida, trabajadores del centro, etc.

Es así como se puede afirmar que el software diseñado cumple con los objetivos propuestos y tiene un desempeño adecuado que responde a las necesidades de la empresa ATI – UEB “Villa Clara”.

3.4 Análisis Técnico-Económico

El desarrollo del presente trabajo de investigación proporciona beneficios de manera directa para la empresa ATI – UEB “Villa Clara” y al realizar un análisis técnico-económico se demuestra la importancia del mismo.

Teniendo en cuenta un salario promedio equivalente a 550 pesos de un trabajador en Cuba, asumiendo un período de desarrollo de la aplicación de dos meses de trabajo igual a 48 días efectivos y respetando la jornada laboral con ocho horas de duración, se puede entonces elaborar una propuesta del presupuesto en gastos de salarios y materiales para el diseño del software, según se muestra en la tabla 3.1.

Indicadores		Cantidad	Equivalente en pesos cubanos	Total (\$)
Desarrollo de la aplicación	48 días de trabajo	384 h	\$2.85/h	1100
	Ordenador	1	\$150 (por depreciación)	150
Total (\$)				1250

Tabla 3.1 Presupuesto aproximado en gastos de salarios y materiales

Por lo tanto, el trabajo se evalúa en aproximadamente 1250 pesos cubanos. Sin embargo, para la empresa ATI – UEB “Villa Clara” se generan además beneficios de carácter intangible como el ahorro de tiempo en el proceso de calibración, la reducción de la probabilidad de errores en los cálculos pues se simplifica el proceso “toma-corrida-

procesamiento” de los datos. Por otra parte, se mejora la calidad de la calibración y adquieren un software que pueden optimizar, personalizar y generalizar si así lo desean.

Dado el costo que actualmente caracteriza a los medios de medición, disponer de un paquete de software que facilite y mejore la calidad del proceso de calibración representaría un ahorro millonario al país, solo por el concepto de garantizar la disponibilidad técnica de este equipamiento, y por la disminución del tiempo de calibración.

Se considera que este software puede aplicarse a otras entidades del país, por lo que la inversión inicial, bajo estas consideraciones, sería amortizada rápidamente.

3.5 Conclusiones del Capítulo

1. Con el uso del IDE Microsoft Visual Studio se diseñó un software que se caracteriza por su flexibilidad, fácil comprensión e interactivo con el usuario; que además provee de información al calibrador auxiliándolo durante el proceso de calibración.
2. El software diseñado cumple con los requisitos y especificaciones definidas por el usuario respetando los criterios de conformidad así como los tratamientos estadísticos a los datos que le son introducidos.
3. Al dotar a la empresa ATI – UEB “Villa Clara” de un software que asista al proceso de calibración se simplifica el propio proceso y se alcanzan mejoras significativas en cuanto a desempeño y calidad del proceso.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1 La revisión bibliográfica efectuada arrojó como resultado la importancia de dominar los principales conceptos asociados a las actividades de metrología; así como reconocer la responsabilidad de la función metrológica en las empresas, y de manera particular la relacionada con la Empresa ATI – UEB “Villa Clara”.
- 2 Se constata la necesidad de conocer y dominar las normas y reglamentaciones, como basamento técnico y legal a cumplimentar por las entidades y empresas nacionales que se dedican a la labor de la metrología.
- 3 La metodología a seguir durante el proceso de calibración garantiza un proceso óptimo, siendo de especial utilidad a la hora de diseñar el software pues define la secuencia de la actividad metrológica y las especificaciones del mismo.
- 4 El software diseñado con el uso del IDE Microsoft Visual Studio es de fácil comprensión e interactivo con el usuario. Además, es capaz de intercambiar con la base de datos confeccionada en Microsoft Access lo que permite proveer al calibrador de información auxiliándolo durante el proceso de calibración.
- 5 Los requisitos y especificaciones definidas por el usuario se cumplen en el software diseñado, respetando la metodología del proceso de calibración, los tratamientos estadísticos a los datos que son introducidos, así como los criterios de conformidad.
- 6 Al dotar a la empresa ATI – UEB “Villa Clara” con un software que asista al proceso de calibración se simplifica el proceso de calibración y se alcanzan mejoras significativas en cuanto a desempeño y calidad del proceso.

Recomendaciones

- 1 Actualmente en nuestro país se sigue la política de desarrollo de software libre, por lo que se induce como primera recomendación desarrollar la aplicación siguiendo dicha política tomando como base el software diseñado en el presente informe de investigación.
- 2 Durante el diseño del software asistente a la calibración de sistemas y cadenas de medida, se desarrolló a petición de los usuarios el cálculo de las incertidumbres para los casos donde no existían correcciones en el patrón.

Sin embargo, una vez que se determine por parte de la empresa ATI – UEB “Villa Clara” el procedimiento a seguir en los casos donde sí existen correcciones en el patrón, se recomienda desarrollar dicho segmento de código y así perfeccionar el software diseñado en el presente trabajo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albán, O. A. V. (2006). *Introducción al Qt y al Qt Creator*. Cauca.
- Alvarado, R., Código Mobile. (2010). Creación de reportes con CrystalReports en Visual Studio 2005/2008, www.blogger.com, Mayo 30, 2014
- ATI (2012) *UEB Empresa de Tecnología de la Información y Automática Instrucción de Calibración*. Villa Clara, Ministerio Industria Básica Unión Eléctrica.
- Bucher, J. L. (2007). *The Quality Calibration Handbook*. William A. Tony, Wisconsin.
- Castellanos, E. I. (2006). *Basic Principles of Instrumentation*. Editorial Feijóo, Villa Clara.
- CEM, CENAM & INDECOPI (2008) *Metrología Abreviada*. 2 ed., Euramet.
- Dunn, W. C. (2005). *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Duvernoy, J. & Dubois, A. (2006). *Training material on metrology and calibration*. World Meteorological Organization, Ginebra.
- Ecured (2012) Visual Studio 2008. *Ecured Enciclopedia Cubana*. Holguín.
- Gowrisankar, B. & Abbulu K. (2010). " Validation and Calibration of Analytical Instruments ".
- Guerrero, D. O. B. (2004) *Manual de interfaz gráfica de usuario en Matlab México*.

- Intecal, General Electric & Co. (2014). Intecal - Calibration Management Software, www.ge-mcs.com/en/pressure-and-level/software/intecal.html, Enero 21, 2014
- Jalón, J. G., Rodríguez, J. I. & Vidal, J. (2005). *Aprenda Matlab 7.0 como si estuviera en primero*. Madrid.
- MetAs (2005). " Métodos de medición, prueba y calibración", *Guía MetAs*, 05 (Julio).
- MetAs (2007a). " El proceso de medición", *La Guía MetAs*, 07 (Septiembre): 1-5.
- MetAs (2007b). " Expresión e interpretación de resultados experimentales en metrología ", *La Guía MetAs*, 07 (Mayo): 12.
- Microsoft, Microsoft Developer Network. (2010). Distribuir .NET Framework con un proyecto de implementación de Visual Studio .NET, <http://msdn2.microsoft.com/en-us/netframework/aa731542.aspx>, Mayo 28, 2014
- Microsoft, Microsoft Developer Network. (2012a). Crear un informe de ReportViewer, <http://msdn2.microsoft.com/en-us/netframework>, Mayo 27, 2014
- Microsoft, Microsoft Developer Network. (2012b). Usar un origen de datos de un objeto comercial con el control de Windows Forms de ReportViewer en el modo de procesamiento local, <http://msdn2.microsoft.com/en-us/netframework>, Mayo 27, 2014
- Mitchem, J. (2004). " Automated calibration aids smooth turnover of new plants", *IEEE*.
- Morris, A. S. (2001). *Measurement and Instrumentation Principles*.3, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Moyano, J. M. D. (2005) Introducción a los sistemas de instrumentación. *Dpto. de Electrónica y Computadores Santander*, Universidad de Cantabria.
- Oficina Nacional de Normalización (2005) Norma Cubana. *Reglas para la estructura, redacción y edición de las normas cubanas y otros documentos normativos relacionados*. La Habana.
- Oficina Nacional de Normalización (2007) Norma Cubana. *Unidades SI y recomendaciones para el empleo de sus múltiplos y submúltiplos y de algunas otras unidades*. La Habana.

Oficina Nacional de Normalización (2012) Norma Cubana. *Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos fundamentales generales y términos asociados (VIM)*. La Habana.

PQSystems, PQSystems. (2012). GAGEpack Características y Especificaciones, www.pqsystems.com, Enero 26, 2014

Trescal, (2013). Calibration Management Software, www.trescal.com, Enero 20, 2013

Vaisala (2006). *Calibration Book*. Vaisala, Helsinki.

ANEXOS

Anexo 1. Modelo de Acta de Calibración**ACTA DE CALIBRACIÓN (Cadenas y sistemas de medida)**

Denominación: _____ No de REGISTRO: _____

Pertenece a: _____

Clasificación: Analógico __ SCADA __ Emp.: _____

Excluyendo al elemento sensor: Sí __ No __ Con Magnitudes incidentes: Sí __ No __

Valor a simular de las magnitudes incidentes: _____

Apreciación ó resolución con que se hace la medición: _____

Elementos que conforman el sistema:

Denominación	No de serie	Rango	Modelo	Otras características

Indicaciones y Errores

% del rango	Valor de entrada (____)	Valor nominal de salida (____)	1er.Ciclo		2do.Ciclo	
			Ascenso	Descenso	Ascenso	Descenso
25						
50						
75						

Comprobación de los valores de alarma.

Alarma 1 (____)			Alarma 2 (____)		
Valor deseado	Ascenso	Descenso	Valor deseado	Ascenso.	Descenso

Comprobación de las protecciones (disparos).

Disparo 1 (____)			Disparo 2 (____)		
Valor deseado	Ascenso	Descenso	Valor deseado	Ascenso.	Descenso

Determinación de la zona muerta

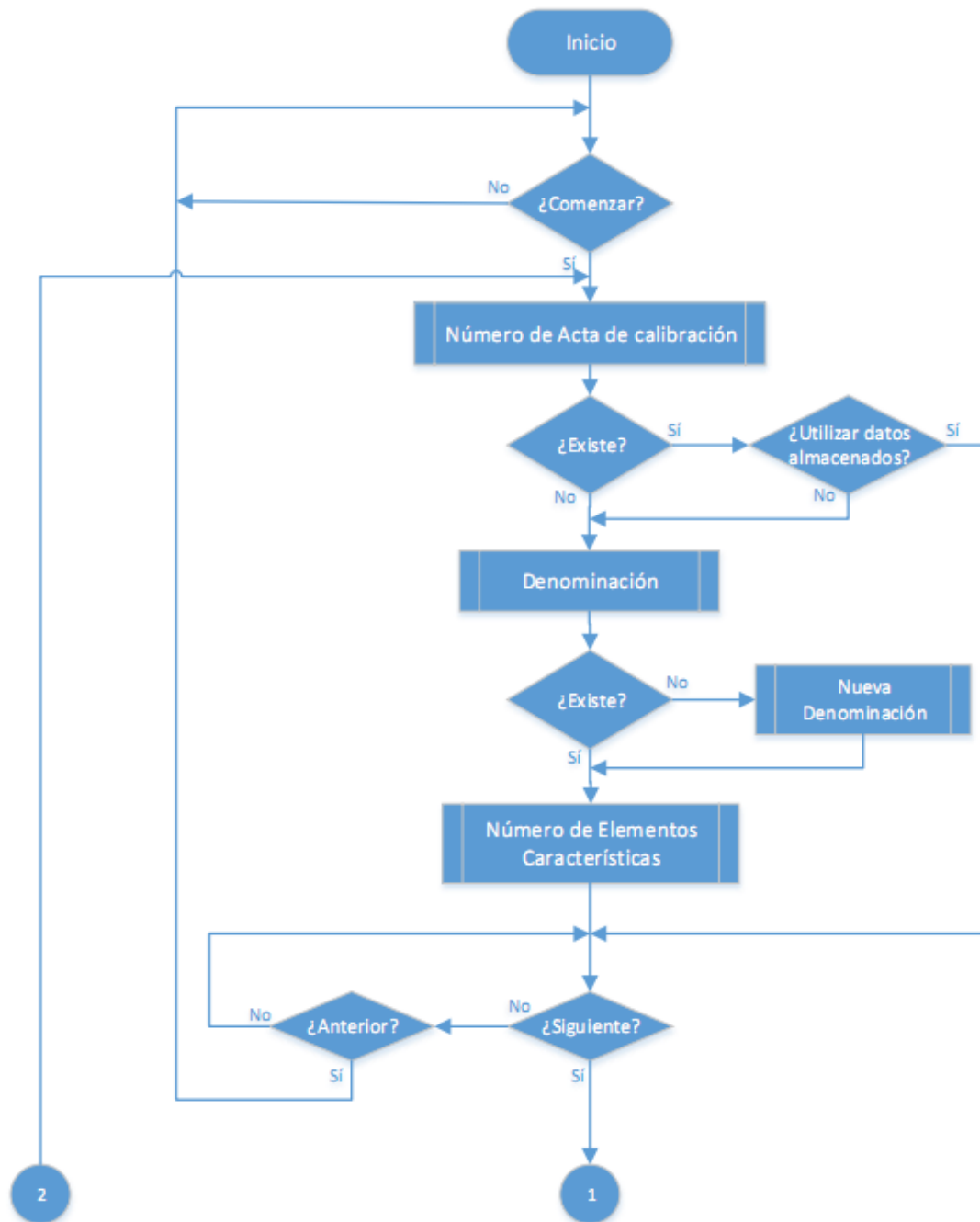
% del rango	Variación de la variable de entrada	
	Ascenso	Descenso
25		
50		
75		

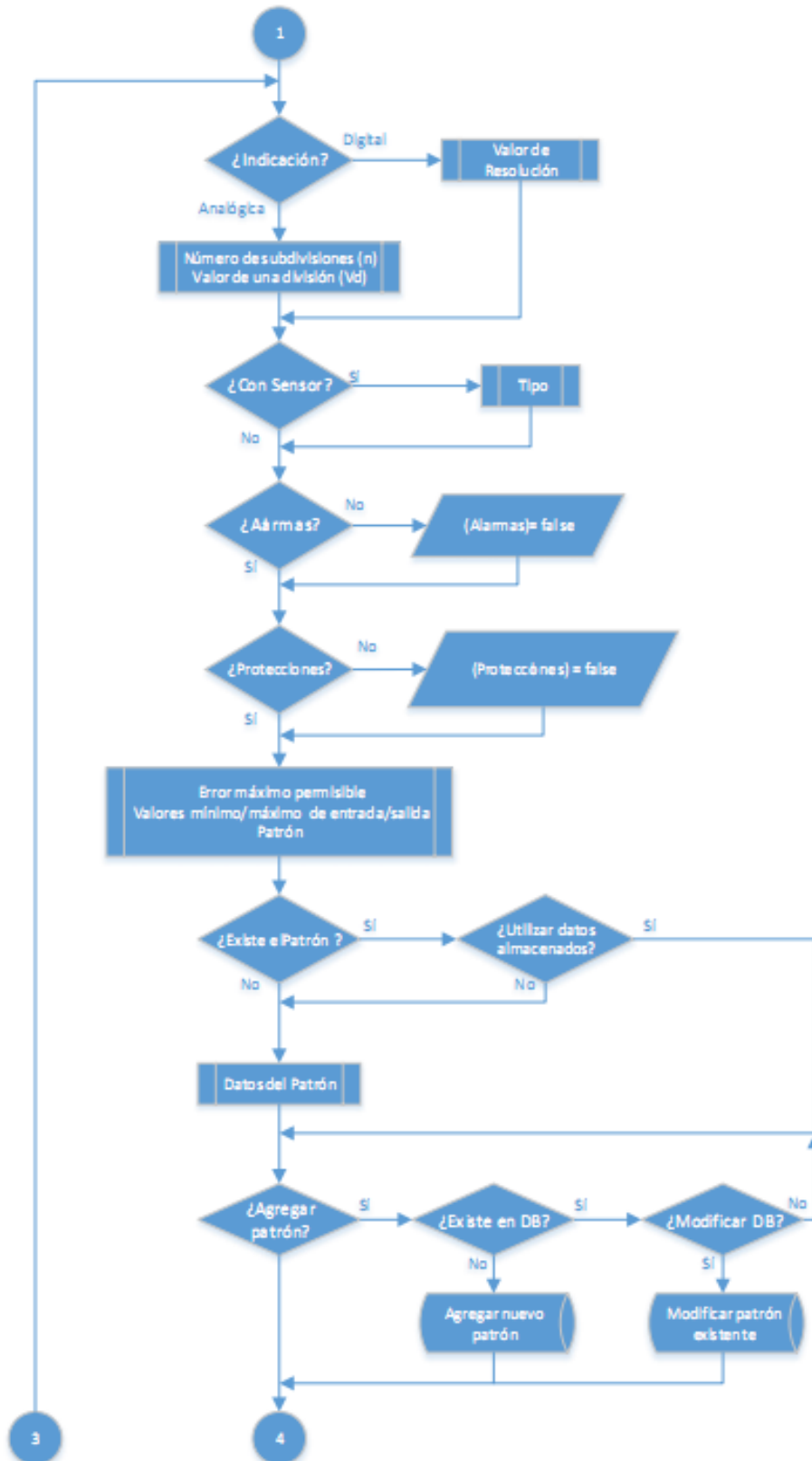
Condiciones bajo las que se ejecuta la calibración:

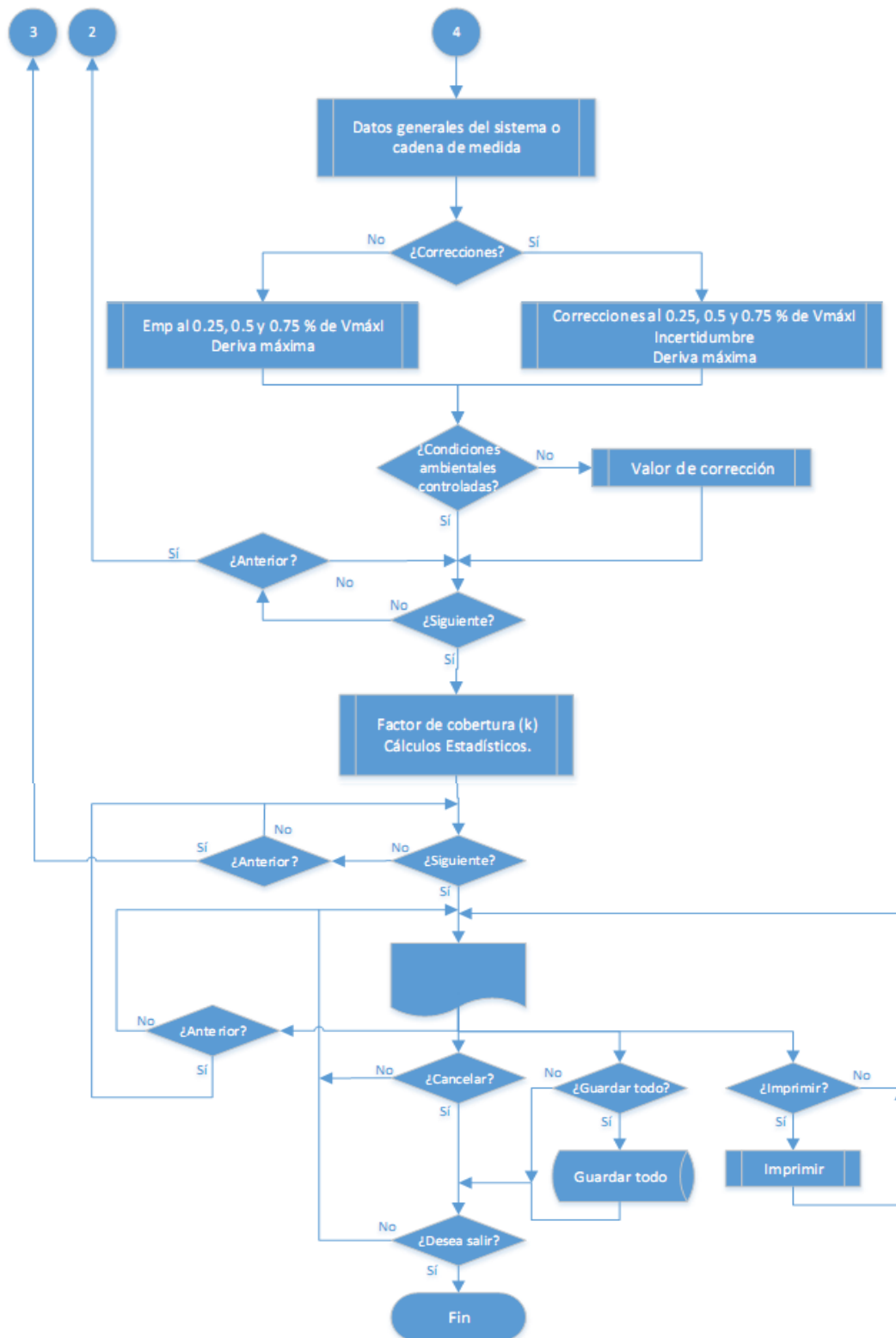
Fecha: _____ Temperatura: _____ °C HR: _____ %

Patrones empleados: _____

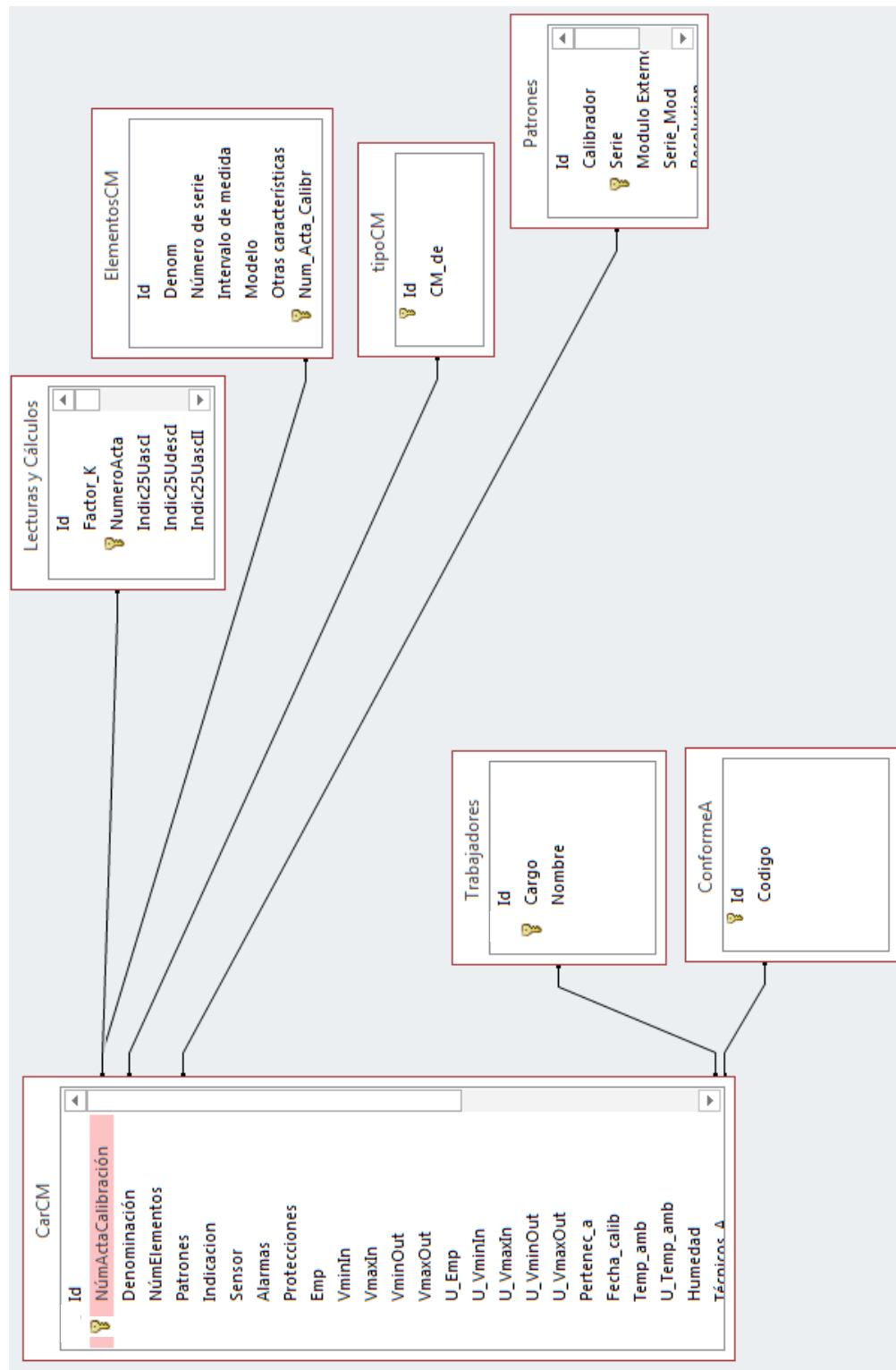
Nombre de los técnicos: _____

Anexo 2. Diagrama de Flujo





Anexo 3. Relaciones entre las tablas de la base de datos



NOTAS:

En caso de ser un Certificado de Calibración Simplificado, la información completa relativa a las calibraciones está a disposición del cliente.

El criterio de conformidad respecto al error máximo permisible declarado por el fabricante, cumple lo establecido en el documento ILAC G8.

Cumple: Si el resultado de la medida más la incertidumbre expandida con una probabilidad de cobertura del 95% no supera el límite de especificación.

No cumple: Si el resultado de la medida menos la incertidumbre expandida con una probabilidad de cobertura del 95% supera el límite de especificación.

No es posible declarar cumplimiento o no cumplimiento (-): Si el resultado de la medida más/menos la incertidumbre expandida con una probabilidad de cobertura del 95% incluye el límite.