



Trabajo de Diploma

Ingeniería Industrial

Título: Análisis del sistema de gestión de la calidad en el laboratorio de la Empresa Cementos Cienfuegos S.A., basado en la NC-ISO 17025:2006.

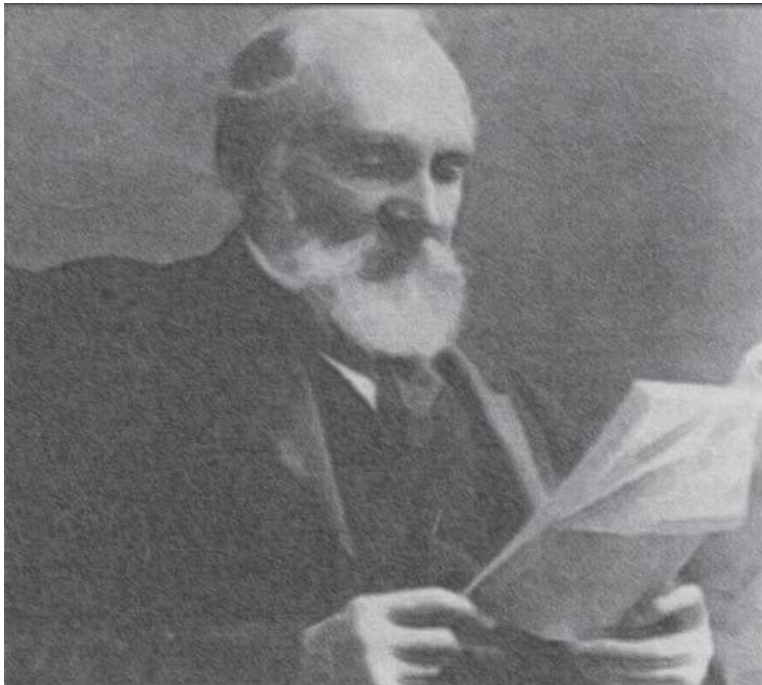
Autor: Franky Delgado Der.

Tutores: MSc. Ing. Henry Ricardo Cabrera.

∴ Ing. Odalys Sánchez Díaz.

Cienfuegos, Cuba 2012.

Pensamiento:



Mientras usted no pueda expresar en números lo que habla, no sabe nada al respecto; pero cuando usted puede expresar en números sus pensamientos, ha entrado en una nueva etapa del conocimiento científico.

William Thompson (Lord Kelvin).

Dedicatoria:

A todas las personas que hicieron posible de una forma u otra la realización de este trabajo.

Agradecimientos:

A todos los que aportaron algo de una forma u otra a la realización de este trabajo.

A mis padres por el apoyo y el cariño que me han brindado siempre.

A mis abuelos por permitir que este trabajo se terminara en tiempo.

A mis tíos y primos por aportar su granito de arena.

A mi novia por estar a mi lado brindando ideas.

Al personal de la Empresa Cementos Cienfuegos S.A., especialmente al personal del laboratorio por la

ayuda y tiempo prestado entre ellos a Odalys Sánchez.

A los docentes por prepararme y darme las herramientas necesarias para afrontar esta investigación.

A mi tutor por guiarme siempre hacia la meta.

A mi grupo por pasar cinco años de amistad, compañerismo, solidaridad y apoyo.

A todos muchas GRACIAS.

Resumen

La presente investigación se desarrolla en la Empresa Cementos Cienfuegos S. A., con el objetivo de garantizar en el laboratorio la competencia técnica establecida en los requisitos de la NC-ISO/IE 17025: 2006 que no están contemplados en la NC/ISO 9001: 2008 certificada en la empresa. Se hace necesaria la utilización de diversas técnicas de recopilación de la información como tormenta de ideas, observación directa, revisión de documentos, entrevistas. El procesamiento de los datos se realiza utilizando el *software* estadístico Statgraphics Centurion XV versión 15.2.14.y el Expert Choice versión 11.

Los resultados fundamentales que se obtienen en la investigación son el diagnóstico realizado al proceso de laboratorio de dicha empresa según la NC-ISO/IEC 17025: 2006; la identificación de los requisitos pendientes para lograr la certificación, el análisis de la calidad de las mediciones y el cálculo de la incertidumbre a los ensayos más importantes dentro del laboratorio.

Palabras claves: competencia técnica, diagnóstico, calidad de las mediciones, incertidumbre.

Summary

Present research was developed in the company Cementos Cienfuegos S. A., in order to ensure laboratory technical competence requirements established in the NC-ISO/IE 17025: 2006 that are not covered by the CN / ISO 9001: 2008 certified at this company. It is necessary to use various techniques of data collection such as brainstorming, direct observation, document review, interviews. The data processing is performed using the statistical software Statgraphics Centurion XV version 15.2.14 and the Expert Choice version 11.

The main results obtained in this research are the diagnosis made at the laboratory process of the company according to NC-ISO/IEC 17025: 2006; the identification of outstanding requirements to achieve certification, the analysis of the quality of measurements and calculation of uncertainty most important trials in the laboratory.

Keywords: technical competence, diagnosis, quality of measurements, uncertainty.

Tabla de contenido

Introducción	10
CAPÍTULO I: Marco Teórico Referencial.	15
1.1 Evolución de la Metrología.	15
1.2 Metrología, definiciones.	20
1.3 Calidad en las mediciones.	23
1.3.1 Trazabilidad de las mediciones al Sistema Internacional de Unidades.	24
1.3.2 Calibración ó Verificación.	24
1.3.3 Expresión de los resultados en unidades del SI.	24
1.3.4 Confirmación metrológica.	25
1.3.5 Evaluación de la incertidumbre de la medición.	25
1.4 Tipos de Metrología.	27
1.5 Importancia de la Metrología.	29
1.5.1 Importancia de la Metrología para la sociedad.	29
1.5.2 La importancia de la metrología para la empresa.	30
1.5.3 Importancia de la Metrología en el Comercio Internacional.	32
1.6 Conceptos de interés.	33
1.7 Surgimiento de la Metrología en Cuba	35
1.7.1 Servicio Nacional de Metrología (SENAMET).	36
1.7.2 Funciones del servicio Nacional de Metrología.	38
1.8 Metrología en Cementos Cienfuegos S.A.	39
1.8.1 Importancia que le atribuye la empresa al sistema metrológico.	40
1.8.2 Normas establecidas.	40
Conclusiones Parciales del Capítulo.	42
CAPÍTULO II: Diagnóstico del proceso del laboratorio según la norma NC-ISO/IEC 17025:2006	43
2.1 Caracterización de Cementos Cienfuegos S. A.	43
2.2 Descripción del Proceso Productivo.	48
2.2.1 Composición química de las Materias Primas.	49
2.3 Diagnóstico del Proceso de laboratorio según la Norma 17025:2006.	50

2.4 Problemas Resultantes de la Revisión del Proceso.	71
Conclusiones Parciales del Capítulo.	72
CAPÍTULO III: Presentación de la solución de los problemas determinados en el capítulo anterior.	73
3.1 Cálculo del número de expertos.	73
3.2 Tormenta de ideas.	76
3.3 Secuenciación de los problemas.	77
3.3.1 Pasos para la construcción del modelo jerárquico:	79
3.4 Análisis de la calidad de las Mediciones.	83
3.4.1 Análisis de la calidad de las Mediciones para el ensayo de Blaine.	84
3.4.2 Análisis de la calidad de las Mediciones para el ensayo de análisis químico. ..	89
3.5 Cálculo de la incertidumbre de la medición.	93
3.5.1 Procedimiento recomendado para la estimación del intervalo de incertidumbre de la medición basado en la desviación típica de reproducibilidad interna.	94
3.5.2 Expresión de la incertidumbre de la medición.	95
3.5.3 Expresión de la incertidumbre de la medición en un informe analítico.	97
3.6 Cálculo de Incertidumbre para las muestras de Blaine.	98
3.7 Cálculo de Incertidumbre para las muestras de Análisis Químico.	100
Conclusiones Parciales del Capítulo.	101
Conclusiones Generales:	102
Recomendaciones:	104
Bibliografía.	105

Introducción

Al realizar un análisis del desarrollo humano en la tierra, se puede observar cómo el hombre tenía necesidades de medir el mundo que lo rodeaba desde sus inicios en la historia.

Tal vez la primera necesidad de medir que tuvo el hombre fue el tiempo, para planificar encuentros entre tribus, programar la realización de labores agrícolas, entre otras, y para ello estableció un calendario en el que la unidad básica de tiempo adoptada fue el día. Se cita como indudable el hecho de que el hombre aprendió a contar y a conocer los eventos estelares antes que escribir, pues así lo indican claramente su conocimiento de las posiciones de los astros, del inicio de las estaciones y sus calendarios lunares. El nacimiento de la agricultura y la ganadería también hicieron necesarios dichos conocimientos para saber cuándo se debía sembrar, realizar el recuento de las cosechas o aparear el ganado. Así también con la navegación, en la que era indispensable conocer cuándo y dónde se producían las mareas y corrientes marinas que podían imposibilitar o facilitar la navegación de las pequeñas embarcaciones de que disponían. El hombre utilizó también un lenguaje corporal (dedos, mano, codo, pie...), y con ayuda de ramas, piedras, etcétera, consiguió contar números cada vez mayores. De esta forma, empezó a contar usando los dedos, guijarros, marcas en bastones, nudos en una cuerda, entre otras formas, para pasar de un número al siguiente. A medida que la cantidad crecía se hacía necesario un sistema de representación más práctico que facilitara el cálculo, palabra esta que deriva de *calculus*, que significa piedrecita. El sistema de numeración que se utiliza desde hace 5 000 años fue desarrollado por los egipcios y es de base diez. Su origen es hindú y parece surgir bajo la consideración de que una mano contiene cinco dedos y dos manos diez. Las cifras arábigas, que es como se conoce a estas últimas, fueron introducidas en España durante la ocupación árabe y se expandieron a todo el mundo. Desde ese entonces, la mayoría de las civilizaciones han contado en unidades, decenas, centenas, millares, etcétera. (Reyes Ponce et al., 2009)

Desde épocas tempranas de la historia se presentan evidencias de mediciones. En el *Antiguo Testamento* aparecen citas, por ejemplo: «No hagáis agravio en juicio,

en medida de tierra, ni en peso ni en otra medida. Balanzas justas, pesas justas, epha justo, e hin justo tendréis...» (Levítico, 19, 35-36). No es difícil imaginar los múltiples conflictos surgidos en la etapa primitiva por las diferencias que existían entre las tribus a la hora de efectuar los intercambios. Como se vio, los patrones y otras medidas utilizadas como referencia eran desiguales, y en más de una ocasión esto suscitó guerras al asumirse como hechos delictivos las diferencias durante el intercambio de mercancías. Las unidades de medida continuaron desarrollándose en correspondencia con las necesidades de la sociedad, la ciencia y la tecnología, hasta la actualidad, con el establecimiento de un sistema de unidades único, capaz de superar las dificultades existentes, de uso internacional, coherente y que abarca todos los campos del saber. Este es el Sistema Internacional de Unidades (SI). (Reyes Ponce et al., 2009).

Hoy en día es inimaginable la industria moderna sin una compleja interacción de numerosos sistemas envueltos por diferentes instrumentos de medición. Pero el conocimiento y entendimiento del funcionamiento de estos instrumentos no basta para obtener la calidad total del producto, existe la necesidad de realizar mediciones adecuadas para poder controlar y/o corregir el producto final. La medición es la herramienta que se usa para obtener la información proporcionada por los instrumentos, que proveen los datos del comportamiento de los sistemas para poder tomar decisiones. Pero, ¿qué serían de estas mediciones sin la metrología? La metrología, es la ciencia que estudia las mediciones y en la cual se incluyen todos los aspectos teóricos y prácticos de estas, ayudan a describir numéricamente el comportamiento del sistema. El costo de producción de trabajo, es uno de los elementos más importantes en la estructura de los costos de producción para una empresa bajo condiciones de competencia perfecta. Toda empresa debe organizar de algún modo el proceso productivo para resolver adecuadamente los problemas económicos fundamentales. Desafortunadamente algunas veces solo se considera el mantenimiento preventivo y correctivo del instrumento como parte fundamental en el proceso, olvidando analizar los factores metrológicos que pueden existir en el sistema, por ejemplo los factores ambientales, humanos, calibraciones, fuentes de errores dinámicos y estáticos en los equipos, la confirmación metrológica, métodos de medición adecuados, etc., pudiéramos mencionar un sin número de efectos que pudieran provocar cambios en el producto final. Si la metrología fuera considerada

como parte importante de cada uno de los procesos de producción, los costos de producción pudieran reducirse y no optar por la compra de equipo que en ocasiones son innecesarios.(Reyes Ponce et al., 2009)

Cuba no está exenta de esta situación, lo cual se ha demostrado mediante un grupo de normas que se han publicado, por ejemplo la NC ISO/IEC 17025: 2006 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración).

En tal sentido adquieren una mayor relevancia en las empresas en las que existen laboratorios de ensayos para control de la calidad del producto. Casos muy interesantes representan las empresas productoras de materiales de la construcción y muy especialmente las fábricas de cemento por la relación del costo económico y de su producción.

Dentro del contexto de Cuba es inevitable analizar la gestión de la empresa Cementos Cienfuegos S. A. (CCSA), por las magnitudes de la empresa y los volúmenes de su producción.

En la mencionada empresa se han venido realizando trabajos encaminados a perfeccionar su sistema de gestión empresarial. Sin embargo, el laboratorio de control de calidad no cuenta con una certificación por la norma NC-ISO/IEC 17025: 2006 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración), siendo esta una tarea actual e importante. En primer lugar porque las producciones están destinadas tanto al mercado nacional como al internacional por lo que el cumplimiento de los requisitos del cliente constituye una razón de mantenimiento del mercado y por tanto de la propia supervivencia de la empresa, por otra parte la calidad de las producciones comercializadas van avaladas por un certificado de calidad, el cual obliga a emitir la incertidumbre de los resultados de las mediciones realizadas.

Los costos asociados a los ensayos constituye una razón poderosa para garantizar la calidad de los mismos, las decisiones que se tomen derivados de los resultados del laboratorio repercuten en los costos de producción y los volúmenes producidos.

La certificación de los ensayos por las NC-ISO/IEC 17025: 2006 garantiza la competencia del laboratorio y permitirá demostrar ante el cliente la calidad del producto.

Por lo antes mencionado es que se ha decidido plantear el siguiente problema de investigación.

Problema de investigación

¿Cómo garantizar una mayor competencia en el proceso de laboratorio de la empresa Cementos Cienfuegos S.A.?

Hipótesis

El proceso de certificación del laboratorio de la empresa Cementos Cienfuegos S. A., bajo los requisitos de la NC-ISO/IEC 17025:2006 proporcionará mayor competencia en dicho proceso.

Variables de estudio

Variable independiente: Proceso de Certificación.

Variables dependientes: Competencia del Proceso de Laboratorio.

Conceptualización de las variables:

Proceso de Certificación: Es el conjunto de pasos o evaluación de requisitos en el cual una entidad, independiente de las partes interesadas (empresa y cliente), transita para garantizar que un producto, proceso o servicio está conforme a las especificaciones de una norma u otro documento normativo de calidad nacional o internacional.

Competencia del Proceso de Laboratorio: Es la conformidad del sistema de gestión de la calidad implementado por el laboratorio para producir datos y resultados técnicamente válidos en la realización de ensayos o de calibraciones, incluido la preparación de muestras, cubre los ensayos y las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio.

Operacionalización de las variables:

Competencia del Proceso de Laboratorio: Se medirá primero con el seguimiento al cumplimiento del Gráfico de Control Analítico y segundo con el cumplimiento Programa de Control Calidad de los Ensayos.

Proceso de Certificación: Se medirá a través del cumplimiento de los requisitos de la certificación.

Objeto de estudio: El laboratorio de la empresa Cementos Cienfuegos S. A.

Campo de acción: Evaluar la competencia, según la NC- ISO/IEC 17025: 2006, del laboratorio de la empresa Cementos Cienfuegos S.A.

El **Objetivo General** de la investigación es garantizar en el laboratorio de la empresa Cementos S.A., la competencia técnica establecida en los requisitos de la NC-ISO/IEC 17025: 2006 que no están contemplados en la NC/ISO 9001: 2008 certificada en la empresa.

Los **objetivos específicos** son los siguientes:

1. Diagnosticar el nivel de competencias del proceso de laboratorio de Cementos Cienfuegos S.A a partir de la evaluación de los requisitos de la NC-ISO/IEC 17025: 2006.
2. Evaluar la calidad de las mediciones del proceso de laboratorio de Cementos Cienfuegos S.A.
3. Solucionar las competencias más perentorias resultantes del diagnóstico.

Tipo de investigación: Descriptiva.

Alcance de la investigación: Dentro del sistema metrológico de la empresa Cementos Cienfuegos S.A., alcanzará el diagnóstico realizado según los requisitos de la NC-ISO/IEC 17025: 2006 en el laboratorio de la empresa Cementos Cienfuegos S.A., así como la solución de los problemas más perentorios resultantes de dicho diagnóstico.

Justificación de la investigación: La certificación del laboratorio por la NC-ISO/IEC 17025: 2006 posibilitará avalar las mediciones y con ello el certificado de calidad que acompaña la comercialización de clinker y cemento.

Valor práctico de la investigación: Permite dotar a la empresa de un diagnóstico necesario para realizar la certificación de su laboratorio, así como el ordenamiento secuencial de las principales competencias a resolver y la evaluación de la calidad de dicho proceso.

El trabajo queda estructurado de la siguiente manera: resumen (español e inglés), introducción, tres capítulos, conclusiones generales, recomendaciones, bibliografía, anexos.

Capítulo I: Se desarrolla el marco teórico referencial de la investigación donde se abordan definiciones de metrología, su importancia, la calidad de las mediciones, la metrología en Cuba, la metrología en Cementos Cienfuegos S.A y la necesidad de mejorar la competencia en el laboratorio de dicha empresa.

Capítulo II: En este capítulo se caracteriza la empresa objeto de estudio y se realiza un diagnóstico del proceso de laboratorio según la NC-ISO/IEC 17025:2006 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración).

Capítulo III: En este capítulo se procederá a darle solución al problema más perentorio de los encontrados en el diagnóstico realizado en el capítulo anterior.

CAPÍTULO I: Marco Teórico Referencial.

Obtener mediciones exactas y confiables, es un requisito fundamental para toda empresa que desee estar entre las más competitivas, puesto que *“lo que no se mide no se mejora”*. A partir de las mediciones se asegura la calidad de los bienes o servicios que se comercializan, generando gran relevancia al momento de tomar decisiones al interior de las organizaciones, exigencias sobre los dispositivos de medida y una gestión de las mediciones con el fin de que equipos y procesos de medición sean adecuados para su uso previsto. (Ospina Gutiérrez et al., 2008).

El presente capítulo tiene como objetivo establecer el estado de arte de la metrología.

El hilo conductor de este capítulo (**figura 1.2**) muestra gráficamente la secuencia de la revisión bibliográfica de la investigación tanto en el ámbito nacional como internacional.

1.1 Evolución de la Metrología.

Uno de los primeros conceptos desarrollados por el hombre fue el de número, pues tenía la necesidad de poder expresar numéricamente todo lo que se encontraba a su alrededor. Entonces el hombre comenzó a medir mediante un simple conteo de objetos. Más tarde, y por propias necesidades de su desarrollo, enunció el concepto de medida, realizando las primeras mediciones a partir de unidades muy rudimentarias.

Las primeras mediciones realizadas estuvieron relacionadas con la masa, la longitud y el tiempo, y posteriormente las de volumen y ángulo como una necesidad debido a las primeras construcciones realizadas por el hombre. Así, por ejemplo, en las primeras mediciones de longitud se empleaba el pie, la palma, la carta o palmo, el dedo, la pulgada etc., que constituyeron, al mismo tiempo, los primeros patrones de medición (patrones naturales), que eran fácilmente transportables y presentaban una relativa uniformidad.(Soto, 2012).

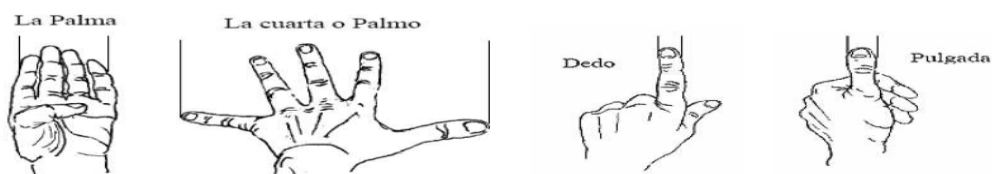


Figura 1.1: Palma, cuarta, dedo y pulgada. Fuente: (Fundación PRODINTEC (Centro tecnológico para el diseño y la producción industrial de Asturias.) & CLUB Asturiano de Calidad., 2007)

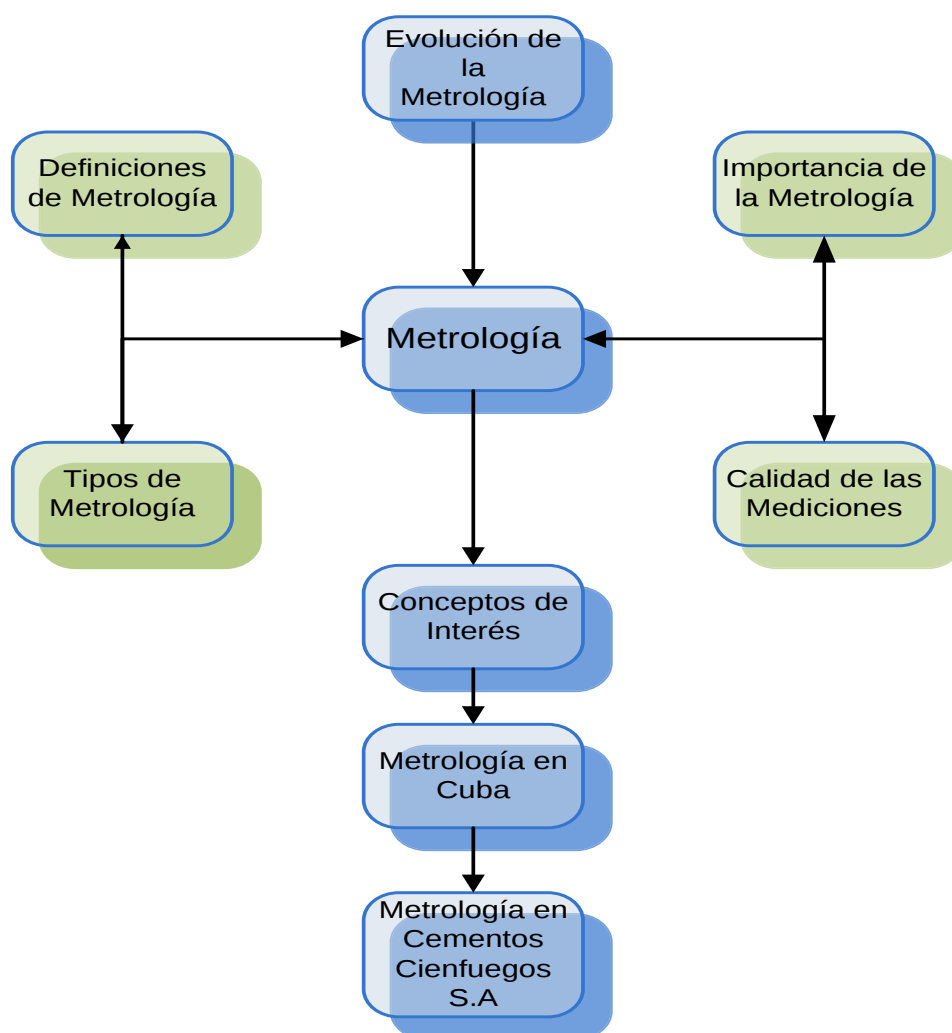


Figura 1. 2: Hilo conductor del Marco Teórico Referencial. Fuente: Elaboración Propia



Además, se comparaban masas de acuerdo con la sensibilidad muscular o se medían distancias relacionándolas con el tiempo, a partir de lo que se podía recorrer a pié en un día y otras mediciones por el estilo. Todas estas unidades de medida resultaban imperfectas, ya que variaban de individuo en individuo y de un lugar a otro, lo que comenzó a crear dificultades a la hora de establecer las primeras relaciones comerciales entre los hombres.(Soto, 2012).

Hace algunos siglos, medir resultaba algo muy complicado. Medir es simplemente comparar, y cada persona, cada pueblo, cada país comparaba las cosas con lo que más se le antojaba. Por ejemplo, usaban la medida mano para medir distancias, y aún hoy mucha gente, cuando no tiene una regla o una cinta métrica, mide el ancho de la puerta con la mano o el largo del patio con pasos. Así aparece el pie, casi siempre apoyado sobre la tierra, como unidad de medida útil para medir pequeñas parcelas, del orden de la cantidad de suelo que uno necesita, por ejemplo, para hacerse una choza. Aparece el codo, útil para medir piezas de tela u otros objetos que se pueden colocar a la altura del brazo, en un mostrador o similar. Aparece el paso, útil para medir terrenos más grandes, caminando por las lindes. Para medidas más pequeñas, de objetos delicados, aparece la palma y, para menores longitudes, el dedo. El problema con esto es obvio: todos los seres humanos no tienen los pies ni las manos del mismo tamaño, o sea, también un problema de medidas.(Soto, 2012).

Aunque la primera propuesta aproximada de lo que luego sería el sistema métrico decimal fueron hechas en 1670 por el francés Gabriel Mouton, dicha propuesta sería discutida y manipulada durante poco menos de 120 años. No fue hasta la Revolución Francesa, allá por el año 1789. En esta época de tumulto y grandes cambios, los franceses, enardecidos por su afán de cambiar y ordenar el mundo, decidieron que tenían que fundar un sistema de mediciones racional y único que fuera superior a todos los demás. Mientras los políticos se dedicaban a mandar a sus enemigos a la guillotina, La Asamblea Nacional (francesa) le encomendó en 1790 a La Academia de Ciencias que creara este nuevo sistema que cumpliera con lo siguiente:



- Estar basado en cosas que permanecieran estables en la naturaleza. No, por ejemplo, el largo de un pie, porque como bien se sabe el largo de los pies, como el de las narices, varía de persona en persona.
- Estar basado en pocas formas de medir que se conectaran unas con otras de manera lógica. Por ejemplo, una vez definido el centímetro, se define al litro como el volumen de algo que entra en un cubo de 10 cm. de lado, y se define el kilogramo como el peso de un litro de agua.
- Debía ser un sistema decimal, es decir, donde los múltiplos de las unidades variaran de 10 en 10. Así, un decámetro es igual a 10 metros, un hectómetro es igual a 10 decámetros, y así sucesivamente.

Después de mucho pensar, los científicos de la época se pusieron de acuerdo en que la unidad de medición debería tener que ver con el planeta Tierra. Y se propuso: ¿por qué no hacer que la unidad de longitud sea la diez millonésima parte de un cuarto de meridiano terrestre? (Soto, 2012).

Pues un meridiano terrestre es la distancia que va desde el Polo Norte al Polo Sur y vuelta al Polo Norte, es decir, una vuelta completa al planeta pasando por ambos polos. La Academia de Ciencias, le encomendó a un grupo de aventureros que fueran a medir, no todo un meridiano, que es muy largo, sino un cuarto de meridiano, que igual es bastante. Los trabajos de medición fueron realizados por Delambre y Méchain. El proyecto fue continuado, a la muerte de su autor, por Bioy y Aragó y fue terminado por Ibáñez de Ibero y Perrier.

Estos medidores midieron la distancia de la ciudad de Dunkirk, Francia, hasta la de Barcelona, España. A partir de esa medición y mediante observaciones astronómicas se pudo calcular el largo del cuarto de meridiano terrestre. A ese número se le dividió por diez millones. El largo que resultó de esa cuenta se usó para fabricar una barra de platino bautizándola con el nombre de **metro**. Así el 21 de septiembre de 1792 quedó fijado como valor del metro “la diezmillonésima parte del cuadrante de meridiano terrestre que pasa por París”.(Fundación PRODINTEC (Centro tecnológico para el diseño y la producción industrial de Asturias.) & CLUB Asturiano de Calidad., 2007).



Entonces, se hicieron y guardaron varias copias del metro patrón en una bóveda de seguridad, protegida de la herrumbre, el frío, el calor y los ladrones. También se decidió que el kilogramo sería, por definición, el peso del agua que cabe en un cubo de un décimo de metro de lado (es decir, 10 centímetros). También se construyó y guardó una pesa patrón de exactamente un kilogramo junto con el metro. A partir de ese momento, todas las mediciones fueron comparaciones con esa barra y esa pesa de platino.

No obstante, estos primeros pasos condujeron al origen de la Matemática, y de la Metrología o ciencia de la medición. Esta última se deriva de la primera y otras ciencias puras. A medida que paso el tiempo, el propio desarrollo del comercio, la industria y la ciencia, fueron obligando a un desarrollo paulatino de las mediciones que tan importante papel desempeñan hoy día en las relaciones entre los hombres, ya que forman parte de nuestra vida cotidiana, de la producción, la distribución, la investigación, etcétera.

Las mediciones ofrecen los medios exactos y precisos para describir las características y el tamaño de las partes. En los momentos actuales la producción en masa, es frecuente que las partes se hagan en una localidad y se ensamblan en otras. Las mediciones proporcionan ese control al brindar la información en términos comprensibles para todo el mundo.(Soto, 2012).

La medición entra en prácticamente todas las operaciones comerciales, desde la adquisición de materia prima, hasta la venta al detalle de productos al consumidor. Para la realización de estas operaciones, la metrología proporciona los medios técnicos necesarios con el fin de asegurar medidas correctas, mediante la implementación de un sistema armonizado de mediciones (Sistema Internacional de Unidades), la exactitud de los instrumentos de medida y métodos validados de medición.

Gran parte de los procesos de producción modernos se caracterizan por el ensamblaje de partes y componentes comprados en el mercado internacional, provenientes de distintos países y de diferentes industrias. Esto implica la aplicación de sistemas de medidas uniformes, fiables, que garanticen el intercambio de las partes y la compatibilidad de las especificaciones de medidas.

Por otro lado, el precio de los productos comercializados se deriva de la cantidad declarada en la etiqueta, la cual normalmente se determina por medición. Obviamente los precios correctos dependerán de mediciones correctas, y para lograr estas es necesario verificar y calibrar los instrumentos de medición. En ambos casos, el resultado de un equipo de medición se compara con el de otro instrumento de mayor exactitud, conocido como patrón.

Por los aspectos anteriormente mencionados es necesario establecer en el país una estructura metrológica que garantice la trazabilidad de las mediciones de tal manera que estas sean correctas. En la mayoría de los países esta infraestructura se basa en el establecimiento de Institutos Nacionales de Metrología, los cuales son responsables de conservar los patrones nacionales con los cuales se calibran los instrumentos de medición de las industrias. Estos patrones a su vez son referidos a los patrones de la Conferencia General de Pesos y Medidas (C.G.P.M) que es el organismo que custodia los patrones de referencia a nivel mundial.

1.2 Metrología, definiciones.

No existe una definición clara y completa de la Metrología, con la que al menos los metrólogos se encuentren satisfechos, fuera de la clásica que la define como “ciencia de la medición”. Sin duda ello es debido a que, estando latente en prácticamente todas las facetas de la vida diaria, casi nadie es consciente de ello. En un intento de definición lo más completa posible, se propone la siguiente: “**La Metrología** es la ciencia que tiene por objeto el estudio de las propiedades medibles, las escalas de medida, los sistemas de unidades, los métodos y técnicas de medición, así como la evolución de lo anterior, la valoración de la calidad de las mediciones y su mejora constante, facilitando el progreso científico, el desarrollo tecnológico, el bienestar social y la calidad de vida.” (“Metrología Básica,” 2012).

También el Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos Fundamentales y Generales, y Términos Asociados (VIM), define la misma como: ciencia de las mediciones que incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones,

independientemente de la incertidumbre y de la rama de la ciencia o la tecnología donde ellas ocurran. (ISO & OIML, 2008).

Según señala Irene Franco: La **metrología** (del griego $\mu\epsilon\tau\rho\omicron\nu$, medida y $\lambda\omicron\gamma\omicron\varsigma$, tratado): es la ciencia y técnica que tiene por objeto el estudio de los sistemas de pesos y medidas, y la determinación de las magnitudes físicas. (Franco, 2012).

Por otra parte los autores Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar definen la **Metrología**: como la ciencia que se encarga de las mediciones vistas como el resultado de un proceso, que está influido por diferentes fuentes de variabilidad. (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2007).

Por su parte las autora Evelyn de Vanegas plantean que la **Metrología** es un término que frecuentemente es utilizado como sinónimo de mediciones, y que incide directamente en la efectividad de los Sistemas de Aseguramiento de la Calidad, lo cual involucra, un amplio sistema de medidas que también abarcan la determinación de las propiedades de los productos, muchas de estas con referencias a Normas y el ensayo de la calidad, medición de los procesos y métodos, la expresión de los resultados y los procedimientos para determinar la incertidumbre de una medición. (Vanegas, 2001).

Luego de analizar estas definiciones el autor considera como más acabada y completa la definición de (Evelyn de Vanegas, 2001) ya que en esta definición se abordan todas la esferas que verdaderamente abarca la metrología, en especial el aseguramiento de la calidad tomando en consideración, además, que se extiende desde las propiedades de los productos hasta los procedimientos para determinar la incertidumbre de una medición.

La Metrología comprende todos los aspectos, tanto teóricos como prácticos, que se refieren a las mediciones, cualesquiera que sean sus incertidumbres y en cualesquiera de los campos de la ciencia y de la tecnología en que tengan lugar.

Cubre tres actividades principales:

- La definición de las unidades de medida internacionalmente aceptadas.
- La realización de las unidades de medida por métodos científicos.



- El establecimiento de las cadenas de trazabilidad, determinando y documentando el valor y exactitud de una medición y diseminando dicho conocimiento.

La infraestructura del componente de metrología incluye laboratorios de metrología legal, e industrial, Patrones Nacionales, Controles Metrológicos entre otros, siendo los objetivos de este componente mejorar la capacidad metrológica y orientar su concurso para el desarrollo del comercio, la producción y el nivel educativo, difundir la aplicación del Sistema Internacional de Unidades.(Vanegas, 2001).

Según los objetivos perseguidos y las bases legales vigentes en cada país se hace una distinción entre la metrología científica, legal e industrial. Para la implantación de la infraestructura Metrológica, ésta requiere de los siguientes componentes:

- Un Laboratorio Metrológico de Referencia, que pone a la disposición las unidades físicas. Por ejemplo, metro, kilogramo, segundo y las disemina con la precisión suficiente, a los niveles subordinados.
- Definición de las Autoridades Encargadas de Verificar los Instrumentos de Medición de Conformidad con las Disposiciones Legales, referentes al ámbito de protección de los consumidores y supervisar el cumplimiento de las prescripciones de la Ley de Verificación de Equipos de Medida.
- Funcionamiento de un Servicio de Calibración, que cuente con laboratorios que en su mayoría están instalados en empresas a nivel industrial, equipados con los medios técnicos y el personal especializado requerido para calibrar los instrumentos de medición, y que han sido acreditados por un organismo oficial, de conformidad con las normas correspondientes, al ejecutar calibraciones y otorgar certificados de calibración; dichos laboratorios están bajo la supervisión técnica del Laboratorio de Referencia

Esta estructura de soporte al aseguramiento de la calidad es imprescindible puesto que todo intercambio organizado de mercaderías y de casi todos los servicios, es decir de prácticamente todas las actividades industriales, están basadas en las mediciones y pruebas, unidades y procedimientos de prueba. Es necesario contar con unidades de medida verificadas y métodos normalizados para determinar de una manera fiable, reproducible y segura, la cantidad y calidad de los productos y servicios. De esto depende

la capacidad de funcionamiento y competitividad del sector industrial, principalmente en mercados internacionales.(Vanegas, 2001).

Por lo antes mencionado y la importancia que tiene dentro de la metrología es que a continuación se hace referencia al tema de calidad de las mediciones.

1.3 Calidad en las mediciones.

Muchas personas, ante el resultado de una medición, en cualquiera de las actividades cotidianas, se han hecho esta pregunta ¿este equipo medirá bien, será confiable el resultado? Esa pregunta encierra un contenido de importante componente conceptual, porque la obtención de un resultado de medición confiable solo es posible si se atienden los elementos que constituyen las bases técnicas que establecen la confianza en dicha medición y que son objetos de estudio de la Metrología. En la figura 1.3 están incorporados los elementos esenciales objeto de estudio de la Metrología. Cada uno de estos elementos juega un papel fundamental para la materialización del objetivo central, que es la garantía de la calidad de la medición, se tratará, de forma resumida, su esencia. (Reyes Ponce, Hernández Leonard., & Hernández Ruiz, 2009).



Figura 1.3: Bases técnicas para garantizar la calidad de la medición. Fuente: (Reyes Ponce et al., 2009).

1.3.1 Trazabilidad de las mediciones al Sistema Internacional de Unidades.

La trazabilidad de los resultados de las mediciones al SI es uno de los elementos sustantivos de la confianza en el uso de un instrumento de medición.

Para fines prácticos, esto significa que el instrumento que vaya a ser utilizado para efectuar una medición debe haber sido previamente comparado con instrumentos patrones para la transmisión o disseminación de la unidad de medida del SI correspondiente a la magnitud que se esté considerando; de manera tal, que se conozca el estado de su calibración/ verificación, o sea, si este garantiza la obtención de mediciones exactas. (Reyes Ponce et al., 2009).

1.3.2 Calibración ó Verificación.

En la norma NC-OIML V2 (1995) se define calibración como:

El conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición y los correspondientes valores de una magnitud referidos por un patrón. (Oficina Nacional de Normalización (ONN), 1995).

Mientras que el Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos Generales y Básicos, y Términos Relacionados, que en su edición del año 2008, redefine los términos calibración y verificación, introduce la jerarquía de la calibración. Transcribimos aquí las nuevas definiciones del término calibración metrológica:

Calibración: Conjunto de operaciones que, en primer lugar, establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición con determinadas incertidumbres de medición, y los correspondientes valores de una magnitud referidos por un patrón, con su incertidumbre de medición asociada, y en segundo lugar, utilizan esta información para establecer una relación y obtener un resultado de medición a partir de una indicación. (ISO & OIML, 2008).

1.3.3 Expresión de los resultados en unidades del SI.

Cada país tiene regulado el sistema de unidades legales que se debe utilizar, con el fin no solo de facilitar el comercio en el mundo, sino también, en ciertos y determinados campos

de aplicación de interés, como son los que pueden afectar la protección al consumidor. El SI ha sido adoptado como Sistema de Unidades en casi todos los países del mundo, aunque algunos como Inglaterra y otros países de Europa no lo hayan adoptado aún. Cuba adoptó el SI en 1982 mediante el Decreto Ley No. 62, en el que se establece su uso obligatorio en todas las actividades de la economía nacional. Si existe contravención de lo dispuesto en el Decreto Ley 62, porque el instrumento que se utiliza no está graduado en unidades del SI o porque no se utiliza la alternativa transitoria de tener disponible la tabla de conversión de la unidad a dicho sistema, entonces se contribuye al caos metrológico por la coexistencia con otros sistemas de unidades, con la consiguiente afectación para la calidad de la medición, ya que el resultado de la misma estará en dependencia de la unidad que se utilice.(Reyes Ponce et al., 2009).

1.3.4 Confirmación metrológica.

La confirmación metrológica se define como el conjunto de operaciones requeridas para asegurarse de que un equipo de medición es conforme con los requisitos correspondientes para su uso. Esta confirmación metrológica generalmente incluye la calibración y verificación, cualquier ajuste o reparación necesaria, y la subsiguiente recalibración, la comparación con los requisitos metrológicos del uso previsto del equipo, así como el sellado y etiquetado requeridos. A partir de esta definición se puede aseverar que la confianza en el estado del instrumento de medición u otro tipo de equipo, no está solo en el hecho de que este se declare apto para el uso o que entregue mediciones exactas porque sus dispositivos o instrumentos de medición hayan sido verificados o calibrados, hay que ir más allá , debe averiguarse si las características del equipo de medición se corresponden con el uso que este va a tener, o sea, con su destino metrológico o con los requisitos del proceso en el que se inserta.(Reyes Ponce et al., 2009).

1.3.5 Evaluación de la incertidumbre de la medición.

Se dice que se conoce el valor de una magnitud dada, en la medida en que se conocen sus incertidumbres. Para la Metrología, la medición de una magnitud con una cierta incertidumbre no significa que se haya cometido una equivocación o que se haya



realizado una mala medición. Con la indicación de la incertidumbre de medición se expresan, en forma, las limitaciones que el proceso de medición introduce en la determinación de la magnitud medida. En la actualidad, se reconoce que incluso cuando todas las fuentes conocidas o supuestas de error sean identificadas y corregidas durante el proceso de medición, aún quedará una incertidumbre, es decir, una duda acerca de hasta qué punto el resultado de la medición verdaderamente representa el valor de la magnitud que ha sido medida. La incertidumbre de medición indica el rango dentro del cual, con una probabilidad dada, es posible que se encuentre el valor reportado para el resultado en cuestión. Es adecuado señalar que para abordar la evaluación de la incertidumbre de la medición, el especialista responsable de tal tarea, además de conocer profundamente el proceso bajo estudio, debe tener conocimientos de matemática superior, probabilidades y estadística, y poseer también determinadas características personales, para efectuar la evaluación de este parámetro con la calidad y el rigor que esta requiere. La incertidumbre de medición indica el rango dentro del cual, con una probabilidad dada, es posible que se encuentre el valor reportado para el resultado en cuestión. Para fines prácticos, el conocimiento de la incertidumbre de la medición permite actuar como decisores ante situaciones tales como:

- Determinación del comportamiento de un proceso ante límites especificados.
- Selección de un instrumento para un destino metrológico específico.
- Optimización de recursos financieros al poder decidir con racionalidad qué tipo de instrumento debe comprar para un uso previsto.
- Selección de manera satisfactoria de un proveedor de servicio metrológico.
- Establecimiento de Acuerdos de Reconocimiento Mutuo (ARM) sobre los resultados de mediciones.
- Consistencia metrológica sobre: competencia técnica, métodos de medición, validación de métodos, entre otras.

(Reyes Ponce et al., 2009).

1.4 Tipos de Metrología.

La Metrología se considera habitualmente dividida en tres categorías, cada una de ellas con diferentes niveles de complejidad y exactitud:

1. Según el Ministerio del Poder Popular para el Comercio en Venezuela **Metrología Científica**: es la parte de la Metrología que se encarga de la custodia, mantenimiento y trazabilidad de los patrones, así como la investigación y desarrollo de nuevas técnicas de medición, de acuerdo al estado del arte de la ciencia. También conocida como "metrología general". "Es la parte de la Metrología que se ocupa a los problemas comunes a todas las cuestiones metrológicas, independientemente de la magnitud de la medida" y se ocupa de los problemas teóricos y prácticos relacionados con las unidades de medida (como la estructura de un sistema de unidades o la conversión de las unidades de medida en fórmulas), del problema de los errores en la medida; del problema en las propiedades metrológicas de los instrumentos de medidas aplicables independientemente de la magnitud involucrada. (Ministerio del Poder Popular para el Comercio, 2012).

Por otra parte según los autores: Ysabel Reyes Ponce, Alejandra Regla Hernández Leonard, Alma Delia Hernández Ruiz, para Cuba **La Metrología Científica** es: el desarrollo de equipos o sistemas de medición patrones, de métodos de medición, del establecimiento de esquemas de jerarquía para la realización de una unidad de medida o para diseñar un método de evaluación de la incertidumbre de una medición. Estos desempeños por lo general tienen gran componente teórico, de conceptualización y definición. (Reyes Ponce et al., 2009).

2. Según el Ministerio del Poder Popular para el Comercio en Venezuela **La Metrología Industrial**: es la parte de la Metrología que se ocupe de lo relativo a los medios y métodos de medición y calibración de los patrones y equipos de medición, de acuerdo al estado del arte de la ciencia y el control de la calidad. Materias típicas son los procedimientos e intervalos de calibración, el control de los procesos de medición y la gestión de los equipos de medida. Esta disciplina se centra en las medidas aplicadas a la industria, a la producción y se basa en la calibración, control y mantenimiento adecuados de todos los equipos de medición empleados en producción, inspección y pruebas. La calibración debe hacerse contra equipos certificados, con relación válida conocida a

patrones, por ejemplo los patrones nacionales de referencia. (Ministerio del Poder Popular para el Comercio, 2012).

Al respecto los autores cubanos Ysabel Reyes Ponce, Alejandra Regla Hernández Leonard, Alma Delia Hernández Ruiz, **La Metrología Industrial**: es la rama de la Metrología más relacionada con las diferentes facetas vinculadas al uso de instrumentos de medición confiables para las mediciones de control de los procesos tecnológicos, porque como reconoció Lina Domínguez, Viceministra del CITMA: «...para lograr calidad es necesario controlar y para controlar es imprescindible medir y medir bien...». En este caso se trata de la determinación de los errores de medición de los diversos equipos de medición insertos en puntos clave de procesos industriales. Para considerar que un proceso se ejecutó con la calidad necesaria, se trata, en la práctica, de que la incertidumbre no sobrepase la tercera parte del error máximo permisible para el instrumento de medición que se calibra. (Reyes Ponce et al., 2009).

3. De acuerdo a lo dispuesto por el Ministerio del Poder Popular para el Comercio en Venezuela: **La Metrología Legal** es: El conjunto de procedimientos legales, administrativos y técnicos establecidos por la autoridad competente, a fin de especificar y asegurar de forma reglamentaria, en nivel de calidad y credibilidad de las mediciones utilizadas en controles oficiales, el comercio, la salud la seguridad y el medio ambiente. (Ministerio del Poder Popular para el Comercio., 2012).

Por otra parte el Vocabulario Internacional de Metrología Legal, publicado por la OIML define la **Metrología Legal** como aquella parte de la metrología relacionada con las actividades que resultan de exigencias reglamentarias y que se aplican a las mediciones, a las unidades de medida, a los instrumentos de medición y a los métodos de medición y que son efectuadas por organismos competentes. (ISO & OIML, 2008).

Según el documento Universidad para todos Curso Metrología para la vida: **La Metrología Legal**: es la parte de la metrología que asegurar la existencia de los recursos necesarios para garantizar el control metrológico de aquellos tipos de instrumentos sujetos a control estatal, definidos en las regulaciones correspondientes, de manera que se pueda comprobar y declarar que estos brindan indicaciones correctas y que cumplen

los requisitos para el uso previsto. Es en este sentido, en el que parte de la Metrología Legal, se involucra con la Protección al Consumidor. (Reyes Ponce et al., 2009).

En los países de la región centroamericana, es de gran importancia el establecimiento y desarrollo de la metrología legal por su gran relación con la protección al consumidor, creando de esta manera la cultura de la calidad a través de la concientización del usuario o consumidor de exigir las condiciones necesarias para salvaguardar la seguridad y protección de la sociedad. (Vanegas, 2001).

Asociado a lo anteriormente expuesto por la autora (Vanegas, 2001) es que en este trabajo se le dedica un epígrafe a la importancia de la Metrología.

1.5 Importancia de la Metrología.

A lo largo de la historia de la humanidad han existido individuos que han valorado en justa medida la importancia de una medición.

William Thompson (Lord Kelvin), eminente científico inglés, expresó:

”Mientras usted no pueda expresar en números lo que habla, no sabe nada al respecto; pero cuando usted puede expresar en números sus pensamientos, ha entrado en una nueva etapa del conocimiento científico”. (Reyes Ponce et al., 2009).

Dimitri Ivanovich Mendeleiev, eminente científico ruso expresó sobre la Metrología:

“La ciencia comienza donde empiezan las mediciones “. (Reyes Ponce et al., 2009).

1.5.1 Importancia de la Metrología para la sociedad.

Las mediciones juegan un importante papel en la vida diaria de las personas. Se encuentran en cualquiera de las actividades, desde la estimación a simple vista de una distancia, hasta un proceso de control o la investigación básica.

La Metrología es probablemente la ciencia más antigua del mundo y el conocimiento sobre su aplicación es una necesidad fundamental en la práctica de todas las profesiones con sustrato científico ya que la medición permite conocer de forma cuantitativa, las propiedades físicas y químicas de los objetos. El progreso en la ciencia siempre ha estado



íntimamente ligado a los avances en la capacidad de medición. Las mediciones son un medio para describir los fenómenos naturales en forma cuantitativa. Como se explica a continuación” la ciencia comienza donde empieza la medición, no siendo posible la ciencia exacta en ausencia de mediciones”. Ya sea café, petróleo y sus derivados., electricidad o calor, todo se compra y se vende tras efectuar procesos de medición y ello afecta a nuestras economías privadas. Los radares (cinemómetros) de las fuerzas de seguridad, con sus consecuencias económicas y penales, también son objeto de medición. Horas de sol, tallas de ropa, porcentaje de alcohol, peso de las cartas, temperatura de locales, presión de neumáticos, etc. Es prácticamente imposible describir cualquier cosa sin referirse a la metrología. El comercio, el mercado y las leyes que los regulan dependen de la metrología y del empleo de unidades comunes.(“Metrología Básica,” 2012).

1.5.2 La importancia de la metrología para la empresa.

Como es conocido, la metrología es un aspecto fundamental y clave en la industria, y su aplicación al proceso productivo garantiza que los productos obtenidos sean aceptados en las siguientes fases de las cadenas de valor. Su aplicación es transversal a todo el tejido productivo, y en todas sus fases, desde la producción de primeras materias hasta el embalaje del producto de consumo. Dado que los mercados son cada vez más exigentes en cuanto a la calidad y excelencia del producto final, el integrador en cada fase trata de trasladar esta exigencia hacia atrás en toda la cadena de valor, remitiendo al proveedor anterior la responsabilidad sobre las partes o elementos suministrados, y así sucesivamente hasta los productores de materias primas en el sector primario, quienes deben garantizar características tales como composición química, estructura molecular, contenidos o ausencias de determinadas sustancias,... etc.

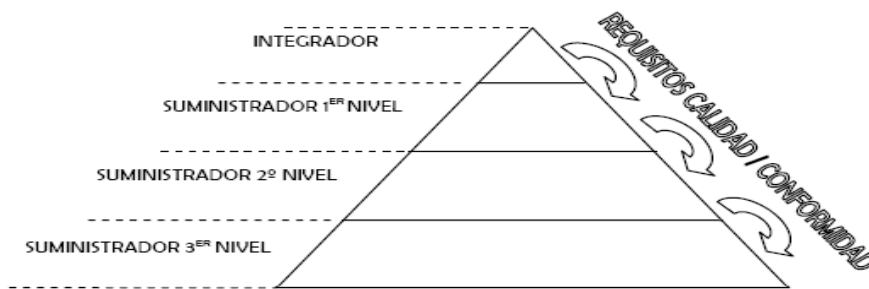


Figura 1.4: Aseguramiento de la calidad en la cadena de suministradores. Fuente: (Fundación PRODINTEC (Centro tecnológico para el diseño y la producción industrial de Asturias.) & CLUB Asturiano de Calidad., 2007).

Actualmente en el mundo industrial en el que se mueven las empresas, el cual empieza a ser más competitivo y riguroso, una de las soluciones que puede abordar es gestionar un proceso metrológico acorde a nuestras necesidades de producción, esta estrategia que ayudará a tener una trazabilidad dimensional, que asegure resultados fiables en los procesos de fabricación y en los productos.

El proceso de verificación metrológica se debe entender dentro de la empresa como un proceso más dentro del proceso productivo. Asegura la calidad de los productos entregados y añade valor al producto. Sólo lo que se mide se puede mejorar. De esta manera la verificación de calidad de los productos basados en el control dimensional permite conocer la capacidad actual de los procesos productivos. Midiendo se puede mejorar. Es decir, conociendo la capacidad actual del proceso se puede conocer el estado actual del proceso productivo y poner en marcha acciones para tener un mayor control. En este principio se basa la metodología 6 Sigma, con su sistemática DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). En cada vez más sectores se empieza a exigir no sólo el que un número determinado de piezas sean correctas, sino que mediante los estudios de capacidad en un número representativo de productos y en distintos momentos se asegure que la distribución normal resultante del proceso esté controlada, es decir que sea un proceso capaz. Se ha definido el concepto 6 Sigma como aquel que por su baja probabilidad de rechazo, asegura la calidad de los productos fabricados en serie.

Tabla 1.1: Relación sigmas con % aciertos y Cpk. Fuente:(Fundación PRODINTEC (Centro tecnológico para el diseño y la producción industrial de Asturias.) & CLUB Asturiano de Calidad., 2007).

Sigmas	Centrado				Descentrado 1,5 sigma.			
	Aciertos %	DPMO	Cp	Cpk	Aciertos %	DPMO	Cp	Cpk
1	68,26%	317.400	0,33	0,33	30.85%	691.500	0,33	-0,17
2	95,44%	45.600	0,66	0,66	69.15%	308.500	0,66	0,17
3	99,74%	2.600	1	1	93.32%	66.800	1	0,5
4	99,9936%	64	1,33	1,33	99.38%	6.200	1,33	0,83
5	99.999942%	0,58	1,66	1,66	99.98%	230	1,66	1,17
6	99.9999998%	0,002	2	2	99.99966%	3,4	2	1,5

Los procesos capaces aseguran el proceso productivo, consiguiéndose mayor productividad, reduciendo los plazos de entrega, una mayor calidad, mayor seguridad y mayor motivación por parte del personal. En resumen se puede decir que MEDIR ES CLAVE PARA EL ÉXITO DEL PROCESO INDUSTRIAL. Nuestra finalidad se verá cumplida evaluando y analizando dimensionalmente nuestro producto, optimizando nuestros recursos existentes y garantizando que, gracias a los resultados obtenidos, se pueda cumplir las especificaciones técnicas. Impactando positivamente en la calidad del producto colocándonos con total fiabilidad en cabeza de nuestro sector y superando las expectativas iniciales del cliente.(Fundación PRODINTEC (Centro tecnológico para el diseño y la producción industrial de Asturias.) & CLUB Asturiano de Calidad., 2007).

1.5.3 Importancia de la Metrología en el Comercio Internacional.

La medición entra en prácticamente todas las operaciones comerciales, desde la adquisición de materia prima, hasta la venta al detalle de productos al consumidor. Para la realización de estas operaciones, la metrología proporciona los medios técnicos necesarios con el fin de asegurar medidas correctas, mediante la implementación de un



sistema armonizado de mediciones (Sistema Internacional de Unidades), la exactitud de los instrumentos de medida y métodos validados de medición.

Gran parte de los procesos de producción modernos se caracterizan por el ensamblaje de partes y componentes comprados en el mercado internacional, provenientes de distintos países y de diferentes industrias. Esto implica la aplicación de sistemas de medidas uniformes y fiables que garanticen el intercambio de las partes, y la compatibilidad de las especificaciones eléctricas.

Por otro lado, el precio de los productos comercializados se deriva de la cantidad declarada en la etiqueta, la cual normalmente se determina por medición. Obviamente los precios correctos dependerán de mediciones correctas, y para lograr estas es necesario verificar y calibrar los instrumentos de medición. En ambos casos, el resultado de un equipo de medición se compara con el de otro instrumento de mayor exactitud, conocido como patrón.

Por los aspectos anteriormente mencionados es necesario establecer en el país una estructura metrológica que garantice la trazabilidad de las mediciones de tal manera que estas sean correctas. En la mayoría de los países esta infraestructura se basa en el establecimiento de Institutos Nacionales de Metrología, los cuales son responsables de conservar los patrones nacionales con los cuales se calibran los instrumentos de medición de las industrias. Estos patrones a su vez son referidos a los patrones de La Conferencia General de Pesos y Medidas (C.G.P.M) que es el organismo que custodia los patrones de referencia a nivel mundial.(Paz, Chichilla, & Velásquez, 2008).

1.6 Conceptos de interés.

Medir: este verbo, con origen en el término latino *metiri* determina el número de veces que la magnitud a medir contiene la unidad de medida. Resultado; producto del número de medida por la unidad en magnitudes tangibles (longitudes, superficies, volúmenes). Suelen designarse por medida. Verificar; comprobación que se cumplen los límites de medida o bien solamente el máximo o el mínimo.(Soto, 2012).

Medición directa: la medida o medición diremos que es directa, cuando disponemos de un instrumento de medida que la obtiene comparando la variable a medir con una de la

misma naturaleza física. Así, si deseamos medir la longitud de un objeto, se puede usar un calibrador. Obsérvese que se compara la longitud del objeto con la longitud del patrón marcado en el calibrador, haciéndose la comparación distancia-distancia. También, se da el caso con la medición de la frecuencia de un ventilador con un estroboscopio, la medición es frecuencia del ventilador (nº de vueltas por tiempo) frente a la frecuencia del estroboscopio (nº de destellos por tiempo). (Beckwith, Marangoni, & Linhard, 2007).

Medición indirecta: no siempre es posible realizar una medida directa, porque existen variables que no se pueden medir por comparación directa, es decir, con patrones de la misma naturaleza, o porque el valor a medir es muy grande o muy pequeño y depende de obstáculos de otra naturaleza, etc. (Beckwith et al., 2007).

Error de medición: la inexactitud que se acepta como inevitable al comparar una magnitud con su patrón de medida. El error de medición depende de la escala de medida empleada, y tiene un límite. Los errores de medición se clasifican en distintas clases (accidentales, aleatorios, sistemáticos, etc.). (Soto, 2012).

Tolerancia: la tolerancia se refiere a un margen permisible, en la dimensión nominal o el valor especificado de una pieza manufacturada. El propósito de una tolerancia es especificar un margen para las imperfecciones en la manufactura de una parte o un componente. (Soto, 2012).

Incertidumbre: parámetro (el parámetro puede ser la desviación típica, un múltiplo de esta o la mitad de un intervalo con un nivel de confianza declarado), asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores. (Oficina Nacional de Normalización (ONN), 2004).

Exactitud: Acuerdo más cercano entre el resultado de una medición y un valor verdadero de la magnitud a medir. (ISO & OIML, 2008).

Patrón: Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, materializar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud. (ISO & OIML, 2008).

Calibración: relación entre la magnitud indicada por un Instrumento de Medición y el valor conocido de un material de referencia o instrumento patrón. (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2007).

Trazabilidad: propiedad del resultado de una medición o el valor de un patrón, por el cual puede ser relacionado con los patrones de referencia, usualmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena interrumpida de comparaciones, teniendo establecidas las incertidumbres. (Álvarez Álvarez, 2007).

1.7 Surgimiento de la Metrología en Cuba

En Cuba las acciones organizadas en el campo de la Metrología Legal se remontan a la década del ochenta del Siglo XIX, cuando por Real Decreto el 22 de Abril de 1882, se estableció la vigencia del Sistema Métrico Decimal, vigente a partir del 1ro de enero de 1888. Con posterioridad, durante la intervención norteamericana de 1899 se emitieron varias Órdenes Militares en este campo, y se introdujeron unidades de medidas del Sistema Inglés.

En La República Neocolonial, y a partir de 1902 se emiten varios documentos estableciendo precisiones sobre la aplicación de las unidades de medidas métricas y sus conversiones al Sistema Inglés. A partir del año 1959, con el triunfo de la Revolución se emiten varias resoluciones por el Ministerio de Comercio sobre la utilización obligatoria del Sistema Métrico en actividades mercantiles, tablas sobre sus principales unidades, y el registro de los medios de Pesar. En esta etapa se comienza realmente el proceso organizativo de la actividad metrológica, a través del Departamento de Normas del Ministerio de Comercio en el año 1960 y del Laboratorio Nacional de Normas y Procesos Industriales de la Junta Central de Planificación y con posterioridad en el año 1962 con la creación de la Dirección de Normas y Metrología del Ministerio de Industrias, momento en que comenzó el desarrollo actual de la Metrología en el país. El 28 de Agosto de 1964 en un documento firmado por el Presidente de la República se dispone el uso oficial y obligatorio en todo el territorio nacional de las tablas de equivalencia de las “Unidades de Pesas y Medidas”. En 1978 por Acuerdo del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros, se aprueban los principios generales del sistema de Normalización, Metrología y Control

de la Calidad, donde se establece la organización de los trabajos metrológicos en el país, así como los órganos que lo ejecutan. El Decreto Ley 62 del 30 de Diciembre de 1982 estableció el uso en la República de Cuba del Sistema Internacional de Unidades (SI), adoptado en 1960 por La Conferencia General de Pesas y Medidas. En Abril de 1994, por el Decreto 147, se crea La Oficina Nacional de Normalización, adscripta al Ministerio de Economía y Planificación, el cual asume las funciones del extinto Comité Estatal de Normalización. La Oficina Nacional de Normalización (Oficina) brinda continuidad a la Metrología en el país, a través de laboratorios de Metrología que forman parte de su sistema, y asume el control metrológico y las relaciones de trazabilidad con la red de Laboratorios de Metrología en los organismos y empresas. Entre las tareas priorizadas de la Oficina también se encuentra el perfeccionamiento de la base legal de la Metrología. Se ha avanzado también en la adopción de un grupo importante de documentos técnico-organizativos recomendados por La Organización Internacional de Metrología Legal en el país. (Oficina Nacional de Normalización (ONN), Cuba., 2009).

1.7.1 Servicio Nacional de Metrología (SENAMET).

El Servicio Nacional de Metrología es la red de Órganos Metrológicos pertenecientes a La Oficina Nacional de Normalización (ONN) y los Órganos Metrológicos de organismos, empresas y otras entidades autorizadas a realizar tareas de Metrología Legal, que comprenden la verificación y aforo de instrumentos de medición, así como la ejecución de mediciones legales y la supervisión metrológica (inspección estatal), en la siguiente figura se muestra su distribución en el país.



Figura 1.5: Distribución territorial de los órganos del SENAMET. Fuente: (Reyes Ponce et al., 2009).

El Servicio Nacional de Metrología ejecuta un conjunto de actividades organizativas, legales, técnicas, científicas y productivas que tienen como objetivo garantizar la exactitud requerida, confiabilidad y la uniformidad de las mediciones en el país.

El Servicio Nacional de Metrología garantiza la trazabilidad de las mediciones que intervienen en los procesos de producción, investigación y servicios que se realizan en el país.

Todo ello conlleva a que las mediciones, calificaciones y/o validaciones en las actividades vinculadas con la Salud Pública, los Polos Científicos, la producción de medicamentos, la defensa, la industria azucarera, sideromecánica, electrónica, comercio nacional e internacional y otras, requieran de este servicio, en muchos casos para lograr el reconocimiento externo en la aprobación y comercialización de sus productos y servicios.

La experiencia internacional demuestra que para garantizar la calidad en los procesos productivos y la competitividad de los bienes y servicios en el mercado se hace necesario una adecuada infraestructura en el campo de la metrología, garantizando el cumplimiento

de los requisitos de competencia técnica de los laboratorios de verificación y calibración y el adecuado control metrológico por parte del Estado. Debe tomarse en cuenta el estimado de que en el país existen unos 4,5 millones de instrumentos de medición, con los cuales se realizan millones de mediciones diariamente. (Oficina Nacional de Normalización (ONN), Cuba., 2009).

1.7.2 Funciones del servicio Nacional de Metrología.

Con el objetivo de asegurar metrológicamente todas aquellas actividades donde estén involucradas mediciones e instrumentos de medición, en Cuba se estableció e implantó el Decreto Ley No. 183 “De la Metrología”, y se creó el Servicio Nacional de Metrología (SENAMET), como órgano competente responsabilizado con las actividades de la Metrología Legal o parte de estas actividades, para materializar la aplicación de las leyes y regulaciones en este campo. Los beneficios del Decreto Ley 183 aparecen de manera resumida en la figura 1.6.

El objetivo principal es establecer las vías para alcanzar la uniformidad y confiabilidad de las mediciones que se realizan en el país.



Figura 1.6: Beneficios del Decreto Ley 183 de La Metrología. Fuente: (Reyes Ponce et al., 2009).

Entre sus funciones fundamentales están:

- Organizar y controlar el uso e implantación del SI.
- Desarrollar y conservar la base de patrones y su diseminación en la cadena de trazabilidad.
- Ejecutar la trazabilidad internacional.
- Establecer la política y organización de la reparación de instrumentos y patrones de medición.
- Organizar el sistema de materiales de referencia certificados.
- Elaborar regulaciones que garanticen los objetivos de la Metrología Legal.
- Organizar y ejecutar la actividad del Control Metrológico.
- Ejecutar la aprobación de modelo de instrumentos de medición, verificación de instrumentos de medición y supervisión metrológica.

La organización, funciones específicas, derechos, deberes y tareas de las entidades enunciadas anteriormente y cualquier otro que se cree con relación al Servicio Nacional de Metrología se regulan en legislación complementaria al Decreto-Ley de Metrología.(Oficina Nacional de Normalización (ONN), Cuba., 2009).

1.8 Metrología en Cementos Cienfuegos S.A.

En la fábrica Cementos Cienfuegos el sistema metrológico comprende la Metrología legal e Industrial, está controlado por la gerencia de mantenimiento, los distintos DG 01-13, disposición de la oficina nacional de normalización, documentos propios de la organización que establecen como llevar a cabo la metrología, estos son controlados por un especialista que atiende la entidad y que a su vez subcontrata a entidades de otras provincias del país autorizadas para el chequeo y mantenimiento de los equipos metrológicos entre ellos están: (Oficina Territorial de Normalización (OTN) Cienfuegos , Oficina Territorial de Normalización (OTN) Villa Clara , Instituto de Investigación de la Metrología (INIMET) La Habana, Centro de Desarrollo Nuclear (CEADEN) , Reparación y Calibración de Pesas (PEXAC). Para la realización de esta actividad se hace un plan anual de verificación y calibración bajo los requisitos de Decretos, Disposiciones y Regulaciones como son: (Decreto ley 183, 270, 271, Disposiciones Generales del 01 al

13, y Regulaciones) (**Ver ANEXO 1.1**). Después de la realización de este plan, el mismo se divide según magnitudes en el año (**Ver ANEXO 1.3**), luego se procede a la aprobación y firma del gerente del área donde se realiza la verificación o calibración y a la coordinación con el ente verificador. Posteriormente a la verificación o calibración queda un registro el cual es guardado hasta que el equipo sea verificado o calibrado otra vez, esta próxima verificación o calibración se rige por el Anexo A de La Disposición General 01 (DG-01), (**Ver ANEXO 1.4**).

1.8.1 Importancia que le atribuye la empresa al sistema metrológico.

La empresa le atribuye la mayor importancia al sistema metrológico, debido a que con un buen sistema metrológico garantiza el correcto funcionamiento de los aparatos e instrumentos de medición, de lo contrario, los resultados de los instrumentos utilizados para el control de calidad no tendrían ninguna validez y esto repercute en la confianza de los clientes y partes interesadas, además asegura una buena calidad en la producción desde la entrada de materias primas, productos intermedios y productos terminados como clinker y cemento mediante el monitoreo continuo de las propiedades físico, químicas y mecánicas (flexión y compresión), lo cual le proporciona mayores ingresos al renglón económico, seguridad a los trabajadores disminuyendo la accidentalidad y mayor aseguramiento de los equipos.

1.8.2 Normas establecidas.

Masa.

NC OIML R76-1: 1999 Instrumentos de pesar no automáticos.

NC OIML R107-1:2000 Instrumentos de pesar totalizadores discontinuos de funcionamiento automático (Tolvas pesadoras).

Volumen.

NC OIML R117: 2000 Sistema de medición para líquidos diferentes al agua

NC9004-01:88 AM Recipientes de almacenamiento. Métodos y medios de aforo volumétricos.

Radiaciones ionizantes.

MC 44-1999 Instrumentos de medición de radiación por gama. Método de verificación.

Dimensionales.

NC OIML R35:2000 Medios materializados de longitud para uso general.

NC OIML R21:2000 Taxímetro.

Físico-química.

NC 90 -05 80 AM Sacarímetros. Métodos y medios de verificación.

NC 90 13-07:84 Colorímetros fotoeléctricos. Métodos y medios de verificación.

Fuerza.

NC 90 08-03:82 AM Máquina de ensayo de resistencia .Métodos y medios de verificación.

Presión.

NC 90 08-03:82 AM Máquina de ensayo de resistencia .Métodos y medios de verificación.

NC 90 08-03:87 Máquina con carga estática para ensayos de materiales a la tracción, compresión y flexión. Método y medios de verificación.

Tiempo y frecuencia.

NC 90 13-03:84 AM Cronómetro mecánico con valores de división de 0,1 s y mayores métodos y medición de verificación.

NC 90 11-09:84 AM Cronómetro eléctrico. Métodos y medios de verificación.

Densidad.

NC 90 13 42:88 AM densímetros y areómetros. Tablas alcoholimétricas internacionales.

NC 90 13 17-81 AM densímetros y areómetros. Reglas generales para efectuar mediciones.

Temperatura.

NC 90 14-05:88 Termómetros clínicos. Métodos y medios de verificación.

NC 90 14-09:81 Termómetro de trabajo de líquido en vidrio. Métodos y medios de verificación.

Electricidad.

NC 90 12-02:81 AM Contadores de energía eléctrica de trabajo. Métodos y medios de verificación.

Conclusiones Parciales del Capítulo.

1. Luego de una amplia revisión bibliográfica se llega a la conclusión de que contar con instrumentos de medición calibrados y reconocidos a través de los organismos internacionales y nacionales que permitan la trazabilidad al Sistema Internacional (SI), asegura la aceptación de los productos en los diversos mercados tanto nacional como internacional, aumentando su demanda y proporcionando al consumidor la tranquilidad de estar comprando productos con calidad aceptada a nivel internacional.

CAPÍTULO II: Diagnóstico del proceso del laboratorio según la norma NC-ISO/IEC 17025:2006

El presente capítulo tiene como objetivo caracterizar la Empresa Cementos Cienfuegos S. A. y diagnosticar el proceso de laboratorio según la norma NC ISO/IEC 17025 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración)

2.1 Caracterización de Cementos Cienfuegos S. A.

La producción de cemento en la Provincia Cienfuegos comienza con el triunfo de la Revolución cubana. En el mes de Junio de 1975, se confeccionó el expediente de Tarea de Inversión para la Fábrica de Cemento de Cienfuegos, donde se planteó la localización del lugar destinado para la construcción de las instalaciones, la red de comunicación vial necesaria a construir, las fuentes de abasto de agua y las soluciones necesarias a gestionar para la fábrica. También fueron analizados los indicadores tales como: los requerimientos de abastecimiento de materias primas y factores socio - económicos para la ejecución y puesta en marcha de la industria.

La fábrica se ubica en el Municipio Cienfuegos, extendida sobre áreas de la Llanura de Cienfuegos y situada a los 220 09' 20" de Latitud Norte y los 800 15' 19" de Longitud Oeste.

El 8 de marzo de 1980 comienza la explotación del primero de los tres hornos de la Fábrica de Cemento de Cienfuegos, lo cual permitió un aumento considerable en la producción nacional de este renglón. La Fábrica de Cemento "Karl Marx", fue inaugurada por el Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz y el presidente de la República Democrática Alemana "Eric Honecker". La tecnología de producción es de vía seca. La Fábrica la conformaban tres líneas paralelas de producción con una capacidad instalada de 1 500 000 ton/año de clinker (tres hornos rotatorios de 500 000 ton/año de clinker).

Después de 21 años de explotación., en el año 2001 se decide la constitución de La Empresa Mixta Cementos Cienfuegos S. A. que comienza con un proceso de mantenimiento general a la línea 1, continuando con la rehabilitación y modernización de

la línea 3, para restablecer su capacidad productiva y alcanzar su capacidad de diseño. En noviembre del 2004 se realiza la puesta en servicio de la línea 3.

El comportamiento productivo de la fábrica ha ido en ascenso. El año 2007 cerró con una producción superior al millón de toneladas de clinker y se implantaron nuevos record históricos de producción para un mes. En el año 2009 se alcanzó la mayor producción registrada desde su reestructuración.

En el año 2010 pasa a formar parte del Ministerio de la Construcción.

Esta importante instalación industrial, la mayor de las fábricas de Cemento de Cuba y una de las más grandes de Latinoamérica, se encuentra muy cercana a asentamientos poblacionales, tanto urbanos como rurales, entre los que se destacan:

- Al Norte, viviendas rurales dispersas, cultivo de cañas y potreros.
- Al Este, los asentamientos, Dolores, Codicia y Cumanayagua.
- Al Sur, los asentamientos, Guaos, Pepito Tey y las instalaciones del Jardín Botánico
- Al Oeste, los asentamientos, Lagunillas, La Josefa y la ciudad de Cienfuegos, encontrándose ésta aproximadamente a 14 Km. de la fábrica.

El **Objeto Social** de la empresa es la modernización, rehabilitación, optimización, operación, mantenimiento, ampliación de la capacidad y explotación de la Planta, la explotación, extracción, transporte y proceso industrial de los minerales de calizas, margas, tobas, limonitas y areniscas ubicados en los yacimientos autorizados en las concesiones mineras que se transferirán o que posteriormente se otorguen, así como la producción, exportación almacenamiento, transporte terrestre y marítimo, distribución, comercialización de clinker, cemento, aditivos de cemento y modificantes especiales de cemento.

La empresa tiene como misión y visión:

Misión: “Nuestro propósito es ser una empresa productora de clinker y cemento para el desarrollo de las personas, la empresa y la sociedad.”

Visión 2015: “Somos líderes en la fabricación de cemento y una de las mejores empresas industriales de Cuba con índices de seguridad industrial, medio ambiente, calidad, eficiencia, productividad y rentabilidad a nivel internacional; con una gestión de excelencia y un equipo de trabajo comprometido con la satisfacción de nuestro personal, proveedores, clientes, accionistas y el entorno.”

Además, la misma posee los valores que se muestran en la **figura 2.1**.

NUESTROS VALORES



Persona: “Las personas constituyen el valor más importante que garantiza nuestro futuro.”
El verdadero éxito hoy del cambio que estamos emprendiendo, está en lo que realmente sienten, piensan e interpretan las personas y sobretodo en la capacidad de reconocerlo, organizarlo y utilizarlo: somos los protagonistas.

Figura 2.1: Valores de Cementos Cienfuegos S. A. Fuente: Manual del Sistema Integrado de Gestión.

Cementos Cienfuegos S. A. tiene implantado un sistema integrado de gestión de la calidad, ambiental y seguridad y salud en el trabajo, por lo que su política integra los aspectos esenciales de estos sistemas.

La producción de cemento es destinada íntegramente a la Unidad de Base Empresarial Comercializadora de Cemento (UBECOCEM); y el clinker se comercializa con Hansen Holding S. A. por convenio entre las partes.

Las empresas suministradoras de portadores energéticos y agua constituyen un eslabón importante en la producción del clinker y cemento. El petcoke es de procedencia venezolana y la empresa suministradora es PDVSA. Los lubricantes los provee CUBALUB, mientras que diesel, carbón, fuel oil, gasolina, nafta y gas licuado de petróleo (GLP) son suministrados por CUPET.

La empresa suministradora de la energía eléctrica es la Organización Básica Empresarial Eléctrica Cienfuegos perteneciente a la Unión Nacional Eléctrica.

El abasto del agua industrial a Cementos Cienfuegos S. A., se realiza desde el río Arimao, por medio de una estación de bombeo ubicada en Codicia. El suministro está a cargo de la Empresa de Recursos Hidráulicos de Cienfuegos.

El suministro de agua potable está incluido entre los servicios contratados a la Empresa de Asistencia y Servicio del Cemento la que a su vez lo recibe de la Empresa de Acueductos y Alcantarillados de Cienfuegos.

Entre otros proveedores se encuentran Geominera; Empresa de Asistencia y Servicio Cienfuegos; Empresa de Mantenimiento Cemento Vidrio; Acueducto y Alcantarillado Cienfuegos; Unidad Básica Empresarial Eléctrica Cienfuegos; CUBALUB; REFRACTECNIC, UDECAM, CUBIZA, IZAJE, SEPSA; CEDAI; COMETAL; MIMVEX; TRASMETRO; Ferrocarriles; Cubana de Aviación; Cuba Control; SERVITALLE; MAMBISA; AGR; Centro Nacional para la Certificación Industrial (CNCI).

La estructura organizacional de Cementos Cienfuegos S. A. se muestra en el **Anexo 2.1**
La empresa cuenta con un total de 273 trabajadores distribuidos de acuerdo a la plantilla

contratada el 23 de mayo del 2011, según categoría ocupacional **tabla 2.1**. Su distribución porcentual se representa en la **figura 2.2**.

En el **Anexo 2.2** se ilustra el mapa de procesos de la empresa.

Tabla 2.1: Composición de la fuerza de trabajo de Cementos Cienfuegos S. A.
Fuente: Cementos Cienfuegos S. A.

Categoría Ocupacional	Aprobada	Cubierta
Obreros	245	241
Técnicos	58	57
Servicio	9	9
Dirigentes	43	42
Administrativos	16	16
Total	371	365

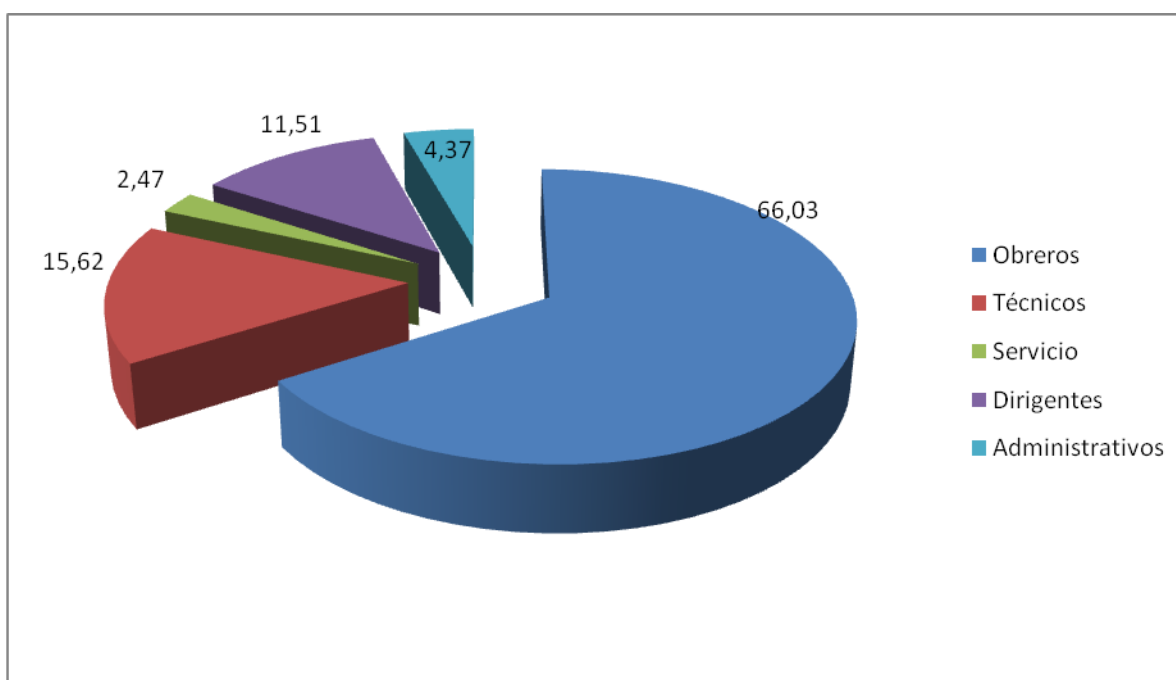


Figura 2.2: Distribución porcentual de las categorías ocupacionales de la plantilla cubierta en Cementos Cienfuegos S. A. Fuente: Elaboración Propia.

2.2 Descripción del Proceso Productivo.

Para la producción de cemento Portland se requiere del empleo de las materias primas fundamentales (caliza, marga y arcilla o correctores), que dan origen al clínker y el uso posterior de aditivos (yeso y puzolana, toba), las cuales al triturarse y molturarse con éste resultan en el producto final, cemento, el cual puede ser de varios tipos, según la resistencia a la compresión. Existiendo así, cemento de resistencia normal, media y cemento de alta resistencia.

La caliza y la marga son los materiales que se utilizan en mayor cantidad y contienen un alto por ciento de Carbonato de Calcio, además Oxido de Alúmina, sílice, potasio, sodio. Para producir el cemento se necesita una composición química que los elementos de la marga y la caliza, por sí solos no poseen en la cuantía porcentual exigida, lo cual obliga a tener que introducir una materia prima adicional, la arcilla; que incorpora la alúmina, la sílice y el óxido férrico deficitarios en los primeros para el completamiento de dicha composición. Antes del proceso productivo estas materias primas reciben un tratamiento.(León Rodríguez, 2010).

La caliza es extraída por explosivos, transportada, triturada y almacenada. La marga también es extraída a voladura, posteriormente transportadas, trituradas, secadas, almacenadas y finalmente dosificadas. Los correctores se extraen con Buldócer (generalmente) y son transportados a la fábrica siguiendo el mismo curso que la marga. Estos son los procesos que a continuación manejaremos como Cantera y Trituración y secado.

Una vez establecidas las proporciones, los materiales son dosificados, triturados, molturados y secados a fin de eliminar la humedad residual, en lo que se denominará, proceso de Preparación del crudo.

De los silos de almacenaje, este crudo para clínker es conducido a la parte superior del precalentador, donde comienza a ponerse en contacto con los gases calientes provenientes de la combustión del Petcoke. El calor suministrado provoca la descarbonatación del Carbonato de Calcio, que se descompone en CaO y CO_2 ; y la elevación de las temperaturas hasta los 1700°C aproximadamente provoca la pérdida de

agua de constitución de la arcilla que proporciona la alúmina y sílice; la zeolita aporta el aluminio, la fundición de óxidos de hierro. Alcanzadas estas condiciones, los óxidos se combinan en distintas formas entre sí, con lo cual se obtiene el clínker, como producto final a la salida del horno. Todo este conjunto de operaciones se nombra en la fábrica Piroproceso.

El clínker producido en el horno se muele y mezcla, normalmente en molinos de bola, junto con yeso para la obtención del cemento. Es usual agregar otros componentes a la mezcla, tales como puzolana, toba, consideradas como adiciones activas, o calizas.

Además de la molienda del clínker y demás componentes del cemento, en el proceso se realizan otras operaciones de reducción de tamaño: la caliza, marga, perdigón, yeso y combustibles sólidos son desmenuzados por distintos tipos de trituradoras. Las mezclas de las materias primas se muelen en molinos horizontales de bolas y los combustibles sólidos en un molino vertical de rodillos.

2.2.1 Composición química de las Materias Primas.

Tabla 2.2 Composición química de las Materias Primas Principales. Fuente: (León Rodríguez, 2010).

MATERIAS PRIMAS	COMPOSICIÓN QUÍMICA				
	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃
Caliza	49,25	5,52	1,09	2,06	0,42
Marga	28,71	34,61	2,36	4,35	-
Perdigón	0,41	39,57	27,76	15,78	-
Yeso	26,75	9,23	2,47	2,59	36,65
Toba	6.95	52.71	6.44	11.48	-

Combustible tecnológico: Petcoke. De procedencia Venezolana. Es un residuo del proceso de refinación del petróleo y sustituye la utilización de crudo. **(Ver tabla 2.2)**

Tabla 2.3: Composición química del Petcoke. Fuente: (León Rodríguez, 2010).

PARÁMETROS	VALOR TÍPICO
Humedad % máx.	8,91
Carbón fijado % (base seca)	85,1
Cenizas %	1
Material volátil %	1,9
Azufre %	4,5
Poder calórico neto (Kcal/Kg)	8506

Combustible Gas Oíl (Diesel). Combustible utilizado como recurso auxiliar en los hornos para el precalentamiento. El consumo es aproximadamente durante 10 horas a partir del arranque.

Las características de este combustible, según las especificaciones de CUPET, se muestran en la **tabla 2.3**

Tabla 2.4: Características físico - química del diesel utilizado. Fuente:(León Rodríguez, 2010).

PARÁMETROS	VALOR TÍPICO
Densidad a 15°C	0.8592 (g/cm ³)
BSW	< 0.05 (% v/v)
Azufre	0.68 (% m/m)
Corrosión al Cu	3:18
Viscosidad a 40°C	3.74 (mm ² /g)
Cenizas (% m/m)	0.006 (% m/m)

2.3 Diagnóstico del Proceso de laboratorio según la Norma 17025:2006.

A continuación se presenta el diagnóstico realizado en el proceso de laboratorio de La Empresa Cementos Cienfuegos S.A., según los criterios de la NC-ISO/IEC17025: 2006 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración).

Esta norma está diseñada para estandarizar los requisitos a cumplir en los laboratorios tanto de ensayos como de calibración en cuanto a la competencia técnica.

El documento está estructurado de la siguiente manera:

- Prólogo.
- Prólogo de la versión en español.
- Introducción.
- Capítulo 1: Objeto y campo de aplicación.
- Capítulo 2: Referencias normativas.
- Capítulo 3: Términos y definiciones.
- Capítulo 4: Requisitos relativo a la gestión.
- Capítulo 5: Requisitos técnicos.
- Anexos.
- Bibliografía.

El diagnóstico fue realizado a través de una revisión de documentos y comparando punto por punto de los requisitos de la norma los cuales se encuentran en los capítulos 4 y 5 de dicho documento contra la documentación existente en el laboratorio el cual posee un sistema de gestión implantado por la norma NC/ISO 9001: 2008.

4.1 Organización.

4.1.1 El laboratorio pertenece a la Empresa de Cemento de Cienfuegos S.A, una entidad con responsabilidad legal las cuales se encuentran en las bases jurídicas lo cual se puede observar en documento DG G 02 (Manual del SIG).

4.1.2 El laboratorio realiza sus actividades de ensayo y calibración de forma tal que cumple con los requisitos de esta Norma Cubana y de satisfacer las necesidades del cliente, las autoridades reguladoras y las organizaciones que otorgan reconocimiento.

4.1.3 El laboratorio es único y se encuentra ubicado dentro de la empresa.

4.1.4 La dirección de la organización se asegura de que ninguno de los demás departamentos o procesos interfieran en los resultados obtenidos en el laboratorio ya que

todos los procesos tienen bien definido su alcance (Ficha de cada uno de los procesos) y la responsabilidad de los trabajadores en su (Perfil de cargo y matriz de competencia) y en el documento GP P01 (Matriz de Competencia).

4.1.5

a) El laboratorio se subordina al Gerente de Calidad como mando superior, para el desarrollo del trabajo cuenta con un Jefe de Laboratorio al cual se le subordina los Técnicos Químicos y mecánicos (EFQM), como se establece en el SL G 01 (Ficha de proceso servicio de laboratorio).

b) Esto se evidencia en el procedimiento GP P01 (Matriz de Competencia), la responsabilidad de cada trabajador y el alcance del proceso en la ficha de proceso SL G 01 (Ficha de proceso servicio de laboratorio),

c) Si existen políticas y procedimientos para asegurar la protección de la información confidencial y los derechos de propiedad de sus clientes, incluidos los procedimientos para la protección del almacenamiento y la transmisión electrónica de los resultados. Ejemplo de esto los Programas de Seguridad Informática.

d) Las políticas y procedimientos para evitar intervenir en cualquier actividad que pueda disminuir la confianza en su competencia, imparcialidad, juicio o integridad operativa se evidencia en la ficha del proceso, como está estructurado y su alcance.

e) La organización y la estructura de gestión del laboratorio, su ubicación dentro de una organización madre, y las relaciones entre la gestión de la calidad, las operaciones técnicas y los servicios de apoyo, están definidos en el Manual del SIG.

f) La responsabilidad, autoridad e interrelación de todo el personal que dirige, realiza o verifica el trabajo que afecta a la calidad de los ensayos o calibración se manifiesta en el perfil de cargo de cada obrero.

g) Se provee adecuada supervisión al personal encargado de los ensayos y calibraciones, incluidos los que están en formación, por personas familiarizadas con los métodos y procedimientos, el objetivo de cada ensayo o calibración, así como la evaluación de los resultados de los ensayos o de las calibraciones.

h) Está definido en la dirección técnica la responsabilidad total, por las operaciones técnicas y la provisión de los recursos necesarios para asegurar la calidad requerida de las operaciones del laboratorio.

i) Existe una persona nombrada como Gerente de Calidad, Odalys Sánchez Díaz , (según Carta de Nombramiento de representante de la Calidad para el SIG), quien independientemente de otras obligaciones y responsabilidades tiene definida la responsabilidad y la autoridad para asegurarse que el sistema de gestión relativo a la calidad será implementado y respetado en todo momento, tiene acceso directo al más alto nivel directivo en el cual se toman decisiones sobre la política y los recursos del laboratorio.

j) Existe un Plan de Reserva aprobado, con un plan de atención a la reserva.

k) El personal es consciente de la importancia de sus actividades para el logro de los objetivos del sistema de gestión de la calidad.

4.1.6 Los procesos de comunicación que se establecen dentro del laboratorio son apropiados y la comunicación se efectúa considerando la eficiencia del sistema de gestión.

4.2 Sistema de Gestión.

4.2.1 El laboratorio establece, implementa y mantiene un sistema de la calidad apropiado al alcance de sus actividades. El laboratorio documenta sus políticas, sistemas, programas, procedimientos e instrucciones con el alcance necesario para asegurar la calidad de los resultados del ensayo y/o calibración. La documentación del sistema que debe comunicarse o ser entendida, está disponible e implementada por el personal apropiado.

4.2.2 Falta definir una política interna para el proceso de laboratorio. El laboratorio como pertenece a una organización mayor con una política definida para su SIG se basa en ella y la aplica a sus tareas. (Manual de la calidad).

4.2.3 La alta dirección proporciona evidencias del compromiso con el desarrollo y la implementación del sistema de gestión y de la mejora continua de su eficiencia a través del Plan de mejora desplegado por procesos y subprocesos.

4.2.4 La alta dirección del laboratorio comunica la importancia de satisfacer tanto los requisitos del cliente como los legales y reglamentarios.

4.2.5 El manual de calidad contiene procedimientos de apoyo e instrucciones técnicas, todos los (SL I 01) hasta (SL I 26).

4.2.6 En el manual de calidad están definidas las funciones y responsabilidades de la dirección técnica y del responsable de la calidad, falta incluir la responsabilidad para el cumplimiento de la NC-ISO/IEC 17025: 2006 en el documento DG P 03 (Control de acciones correctivas preventivas. Productos no conformes.).

4.2.7 La alta dirección se asegura de que se mantiene la integridad del sistema de gestión cuando se planifican e implementan cambios en este. Es parte del procedimiento DG P 01 (Control de documentos del SIG).

4.3 Control de Documentos.

4.3.1 El laboratorio tiene establecido procedimientos para el control de sus documentos y se rige por el documento DG P 01 (Control de documentos del SIG).

4.3.2 Aprobación y emisión de documentos.

4.3.2.1 Todos los documentos distribuidos entre el personal del laboratorio como parte del sistema de gestión son revisados y aprobados, para su uso, por el personal autorizado antes de su emisión. Existe un procedimiento de control de la documentación, identificando el estado de revisión vigente y la distribución de los documentos del sistema de gestión, la cual es fácilmente accesible con el fin de evitar el uso de documentos no válidos u obsoletos según el procedimiento DG P 01 (Control de documentos del SIG.).

4.3.2.2. Los procedimientos adoptados asegura el cumplimiento de cada uno de los incisos ya que se rigen por el documento DG P 01 (Control de documentos del SIG).

4.3.2.3 Los documentos del sistema de gestión generados por el laboratorio son identificados unívocamente ya que se rigen por el documento DG P 01 (Control de documentos del SIG).

4.3.3 Cambios a los documentos.

4.3.3.1 Los cambios a los documentos son revisados y aprobados por la misma función que realizó la revisión original. El personal designado tiene acceso a los antecedentes pertinentes sobre los que basará su revisión y su aprobación según el procedimiento DG P 01 (Control de documentos del SIG.).

4.3.3.2 El texto modificado o nuevo es identificado en el documento o en los anexos apropiados según el documento DG P 01 (Control de documentos del SIG.).

4.3.3.3 Están definidos los procedimientos y las personas autorizadas para realizar tales modificaciones. Las modificaciones están claramente identificadas, firmadas y fechadas. Un documento revisado es editado nuevamente tan pronto como sea posible según el procedimiento DG P 01 (Control de documentos del SIG.).

4.3.3.4 Existen procedimientos para describir como se realizan y controlan las modificaciones de los documentos conservados en los sistemas informáticos según el procedimiento DG P 01 (Control de documentos del SIG) y sistema de seguridad informática.

4.4 Revisión de los pedidos, ofertas y contratos. (No procede). Porque en el laboratorio no se subcontratan los servicios de calibración ni de ensayos.

4.5 Subcontratación de ensayos y de calibración. (No procede). Pues en el laboratorio no se subcontratan los servicios de calibración ni de ensayos.

4.6 Compra de servicios y de suministros.

4.6.1 El laboratorio tiene procedimientos para la compra CO P 02 (Compra de servicios), la recepción CO I 01 (Recepción en almacén.), falta el almacenamiento de los reactivos e insumos que el laboratorio necesita para los ensayos y las calibraciones.

4.6.2 El laboratorio se asegura y comprueba que los suministros, los reactivos y los materiales consumibles comprados, que afectan a la calidad de los ensayos o de las calibraciones, no sean utilizados hasta que no hayan sido inspeccionados o verificados de alguna forma. Cada producto tiene su propio registro de entrada, para verificar el cumplimiento de los requisitos.

4.6.3 Los documentos de compra de los elementos que afectan a la calidad de las prestaciones del laboratorio, contienen todos los datos que describen los servicios y suministros solicitados en la solicitud de compra y a través de su certificado de calidad, y se les pide si están certificados por alguna norma.

4.6.4 El laboratorio evalúa a los proveedores de los productos consumibles, suministros y servicios críticos que afectan la calidad de los ensayos y de las calibraciones, mantiene los registros de dichas evaluaciones y establece una lista de aquellos que hayan sido aprobados, según el procedimiento CO P 03 (Selección de proveedores.).

4.7 Servicio al cliente.

4.7.1 El laboratorio coopera con los clientes ya que estos son internos debido a que forma parte de una empresa.

4.7.2 El laboratorio obtiene información de retorno, tanto positiva como negativa, de sus clientes a través de la entrega de turnos y la junta de gerencia diaria y la comunicación directa. La información se utiliza y analiza para mejorar el sistema de gestión, las actividades de ensayo y calibración y el servicio al cliente.

4.8 Quejas No existe un sistema recopilador de quejas, aunque sí un sistema de retroalimentación y evaluación, en los distintos escenarios donde se analiza la calidad de los productos, cambio de turno, juntas, así como reportes, etc.

4.9 Control de trabajo de ensayos o de calibración no conforme.

4.9.1 El laboratorio tiene un control de acciones correctivas y preventivas que se implementan cuando cualquier aspecto de su ensayo y/o calibración, así como el resultado de dichos trabajos, no son conformes con los procedimientos propios y los requisitos acordados por el cliente, se cumple con todos los incisos ya que se rige por el

procedimiento DG P 03 (Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes.).

4.9.2 Cuando la evaluación indica que el trabajo no conforme podría repetirse o que existen dudas acerca del cumplimiento de las operaciones del laboratorio con sus propias políticas y procedimientos, se aplica de inmediato el procedimiento DG P 03 (Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes.).

4.10 Mejora.

El laboratorio mejora continuamente la eficacia de su sistema de gestión mediante la evaluación mensual del cumplimiento de los objetivos (Indicadores de eficacia) que contemplan la mejora y garantizan el cumplimiento de la política del Sistema Integrado de Gestión.

4.11 Acciones correctivas.

4.11.1 Generalidades.

El laboratorio como parte de los procesos del Sistema Integrado de Gestión aplica el establece procedimiento (DG P 03 Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes) y tiene designada la autoridad apropiadas para implementar acciones correctiva cuando se ha identificado un trabajo no conforme o desviaciones de las políticas, procedimientos e instrucciones del sistema de gestión implementado.

4.11.2 Análisis de causas.

El procedimiento para la acción correctiva empieza con una investigación para determinar la (las) causa(s) básica(s) del problema, esto se puede observar en el procedimiento DG P 03 (DG P 03 Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes).

4.11.3 Selección e implementación de acciones correctivas.

Cuando se necesiten acciones correctivas, el laboratorio identifica las acciones con mayor posibilidad de eliminar el problema y prevenir su repetición, esto se puede observar en el procedimiento DG P 03 (Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes.)

4.11.4 Seguimiento de las acciones correctivas.

El laboratorio realiza el seguimiento de los resultados para asegurarse de la eficacia de las acciones correctivas implementadas, esto se puede observar en el procedimiento DG P 03 (Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes).

4.11.5 Auditorias adicionales.

El laboratorio se asegura de que los correspondientes sectores de actividades sean auditados, tan pronto como sea posible, esto se puede observar en el procedimiento SL P 02 (Control de la calidad de los ensayos.).

4.12 Acciones preventivas.

4.12.1 Son identificadas las necesidades de mejoramiento y las fuentes potenciales de no conformidades, ya sean técnicas o del sistema de la calidad. Si se requieren acciones preventivas, se desarrollan, implementar y supervisar planes de acción, para reducir la probabilidad de ocurrencia de tales no conformidades y para aprovechar las oportunidades de mejoramiento, esto se puede observaren el procedimiento DG P 03 (Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes), plan de mejora y evaluación de la eficacia.

4.12.2 Los procedimientos para las acciones preventivas incluyen el inicio de dichas acciones y la aplicación de controles para asegurar que son efectivas, esto se puede observar en el procedimiento DG P 03 (Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes).

4.13 Control de los registros

4.13.1 Generalidades.

4.13.1.1 Aparece en cada instrucción y procedimientos (SL I 01) hasta el (SL I 26) y además en el procedimiento DG P 02 (Control de registros del Sistema Integrado de Gestión SIG).

4.13.1.2 Todos los registros son legibles, almacenados y conservados en forma tal que sean fácilmente recuperarlos, en ambientes que proporcionen un medio favorable para

prevenir daños o deterioro y evitar su pérdida. Se establecen los tiempos de conservación de los registros en el procedimiento DG P 02 (Control de registros del SIG).

4.13.1.3 Todos los registros son conservados en condiciones seguras y confidenciales. (DG P 02 Control de registros del SIG).

4.13.1.4 El laboratorio tiene procedimientos para proteger y recuperar los registros almacenados electrónicamente y para prevenir el acceso no autorizado o los cambios de estos registros, esto se puede ver en el procedimiento DG P 02 (Control de registros del SIG), Seguridad informática y un sistema de salvallas en un disco duro.

4.13.2 Requisitos técnicos.

4.13.2.1 El laboratorio mantiene por un período definido en sus procedimientos e instrucciones todos los registros generados por el laboratorio esto se puede ver en el procedimiento DG P 02 (Control de registros del SIG).

4.13.2.2 El programa (QCXL 04) está diseñado para anexar comentarios relacionados con la operación realizada. Las observaciones, datos y cálculos son registrados en el momento en que son realizados e identificables con la operación específica, esto se puede ver en la instrucción SL I 04 (Medición de muestras en el equipo de fluorescencia XRF y en el de difracción).

4.13.2.3 Cuando se cometen errores en los registros, cada error es encerrado entre paréntesis, sin borrar ni deteriorar su legibilidad, anotándose el valor corregido al lado. Todas las alteraciones a los registros son firmados por la persona que realiza la corrección. En el caso de registros conservados electrónicamente, se toman medidas similares para evitar pérdida o cambio de los datos originales. Falta establecerlo en el apartado 8 de la instrucción SL I 04 (Medición de muestras en el equipo de fluorescencia XRF y en el de difracción.).

4.14 Auditorías Internas.

4.14.1 En el laboratorio se realiza periódicamente auditorías internas por la Gerente de Calidad y la Jefa de laboratorio y de acuerdo con una programación y procedimiento predeterminados, para verificar que sus operaciones continúen siendo conformes con los

requisitos del sistema de la calidad y de esta Norma Cubana. El programa de la auditoría interna contiene todos los elementos del sistema de la calidad, incluyendo las actividades de ensayo y/o calibración. También se rigen por los procedimientos DG P 04 (Auditorías internas del SIG) y SL P 02 (Control de la calidad de los ensayos.).

4.14.2 Cuando los hallazgos de la auditoría provocan dudas sobre la efectividad de las operaciones, la exactitud o validez de los resultados de los ensayos y/o calibraciones del laboratorio, este toma acciones correctivas oportunas y notifica a sus clientes (Internos), por escrito, si las investigaciones muestran que pueden haber sido afectados los resultados del laboratorio esto se puede observar en el procedimiento DG P 04 (Auditorías internas del SIG).

4.14.3 El laboratorio registra el área de actividad auditada, los hallazgos de la auditoría y las acciones correctivas derivadas esto se puede observar en el procedimiento DG P 04 (Auditorías internas del SIG).

4.14.4 Las actividades de seguimiento de la auditoría verifican y registran la implementación y eficacia de las acciones correctivas tomadas, esto se puede observar en el procedimiento DG P 04 (Auditorías internas del SIG).

4.15 Revisiones por la dirección.

4.15.1 De acuerdo a un plan y procedimiento establecido previamente, la dirección del laboratorio con responsabilidad ejecutiva efectúa mensualmente, una revisión del sistema de la calidad del laboratorio y de las actividades de ensayo y/o calibración en el que se hace una evaluación para asegurarse de su continua adecuación y eficacia e introducir cualquier cambio o mejora necesaria. En la revisión se tienen en cuenta todos estos elementos. Dicha evaluación es revisada por la máxima dirección del proceso productivo e informado a la dirección de la organización.

4.15.2 Son registrados los hallazgos de la revisión de la dirección y las acciones que surjan de estas donde se elabora una información de la eficacia, en la que se realizan correcciones y mejoras por la dirección. La dirección se asegura que estas acciones sean realizadas en el período de tiempo apropiado y acordado y en caso de que haya que tomar alguna medida se chequea que se cumpla con la medida.

5 Requisitos técnicos.

5.1 Generalidades.

5.1.1 Son muchos los factores que determinan la exactitud y confiabilidad de los ensayos y/o calibraciones realizados por un laboratorio. Estos factores pueden incluir elementos que provienen de:

- Factores humanos (5.2.);
- Instalaciones y condiciones ambientales (5.3.);
- Métodos de ensayo y/o calibración y la validación del método (5,4);
- Equipos (5,5);
- Trazabilidad de las mediciones (5,6);
- Muestreo (5,7);
- Manipulación de los objetos de ensayo y calibración (5,8).

5.1.2 El grado en el que estos factores contribuyen a la incertidumbre total de la medición, está en la matriz de competencia de cada uno de los trabajadores. El laboratorio toma en cuenta estos factores en el desarrollo de métodos y procedimientos de ensayo y calibración, así como, en el entrenamiento y calificación del personal, y en la selección y calibración del equipo que utiliza.

5.2 Personal.

5.2.1 La dirección del laboratorio asegura la competencia de todo el personal que opera equipos específicos, que realiza ensayos y/o calibraciones, que evalúa resultados y que firma informes de ensayos y certificados de calibración. Cuando se emplea personal en entrenamiento, se asegura de la adecuada supervisión. El personal que ejecuta tareas específicas está calificado sobre la base de una educación apropiada, entrenamiento, experiencia y/o habilidades demostradas, según es requerido. Está contenido en los procedimientos DG P 01 (Matriz de Competencia) y DG P 02 (Selección e Inducción del Personal).

5.2.2 La dirección del laboratorio formula los objetivos con respecto a la educación, el entrenamiento y las habilidades del personal del laboratorio. El laboratorio tiene un plan y

procedimientos para identificar las necesidades de entrenamiento y proporcionar el entrenamiento del personal. El programa de entrenamiento corresponde a las tareas actuales y previstas del laboratorio. Está contenida en el procedimiento DG P 03 (Capacitación del personal).

5.2.3 El laboratorio utiliza personal permanente, o bajo contrato con el laboratorio. Cuando se usa personal contratado, personal técnico adicional y personal clave de apoyo, el laboratorio se asegura que dicho personal sea supervisado así como que sea competente y que trabaje conforme al sistema de la calidad del laboratorio. Esto se realiza mediante una evaluación denominada como desempeño del personal. Está contenida en el procedimiento GP P 02 (Evaluación del Desempeño).

5.2.4 El laboratorio mantiene actualizados los perfiles de los puestos de trabajo del personal de dirección, técnico y de apoyo clave involucrado en los ensayos y/o calibraciones. Esto es conocido como matriz de competencia. Está contenida en el procedimiento GP P 01 (Matriz de Competencia).

5.2.5 La dirección autoriza al personal específico para realizar tipos particulares de muestreo, ensayos y/o calibraciones, este personal está bien definido en el (GP P 01 Matriz de Competencia) y el Programa de calibración.

5.3 Instalaciones y condiciones ambientales.

5.3.1 El laboratorio se asegura que las condiciones ambientales no invaliden los resultados o comprometan la calidad requerida de cualquier medición, esto está incluido en cada una de las instrucciones desde SL I 01 hasta SL I 26.

5.3.2 El laboratorio realiza un seguimiento, controla y registra las condiciones ambientales según lo requieran las especificaciones, métodos y procedimientos pertinentes o cuando estas influyan sobre la calidad de los resultados. En el laboratorio existe un registro ya que lo exige la norma por la cual se realizan los ensayos y/o calibraciones.

5.3.4 El laboratorio es un área restringida y algunas de las áreas más importantes están cerradas y con acceso limitado o restringido.

5.3.5 Se toman medidas para asegurar el orden y la limpieza del laboratorio y se controla con la evaluación mensual según la lista de chequeo establecida en la organización.

5.4 Métodos de ensayos de calibración y validación de los métodos.

5.4.1 Generalidades.

Las instrucciones son las que brinda el fabricante de cada equipo, el laboratorio no realiza muestreo ya que este es realizado por cada una de las áreas y las muestras son llevadas al laboratorio, este valida e inspecciona los puntos de muestreo según el documento SL I 23 (Inspección en el punto de muestreo.) y estos métodos son normalizados.

5.4.2 Selección de los métodos.

Cada ensayo o calibración tiene su método definido en cada instrucción de la SL I 01 hasta el SL I 26. Los métodos de muestreo están definidos en cada proceso, los cuales son revisados y aprobados por la Gerencia de Calidad en los casos que no están normalizados.

5.4.3 Métodos desarrollados por el laboratorio.

La introducción de métodos de ensayo y calibración desarrollados por el laboratorio para su propio uso tiene una actividad planificada y es asignada al personal calificado, provisto de los recursos adecuados. Los cuales son actualizados en el desarrollo del proceso y se asegura una comunicación efectiva entre todo el personal involucrado. Está contenida en las instrucciones desde SL I 01 hasta SL I 26, y en el Gráfico de Control Analítico.

5.4.4 Métodos no normalizados.

Todos los métodos están normalizados, excepto el de cal libre y el de retenido que están validados contra los métodos de las normas correspondiente y estos métodos no contiene el inciso k (la incertidumbre o el procedimiento para determinar la incertidumbre).

5.4.5 Validación de los métodos.

5.4.5.1 La validación es la confirmación, a través del examen y el aporte de evidencias objetivas, de que se cumplan totalmente los requisitos particulares para un uso específico previsto.

5.4.5.2 En el laboratorio todos los métodos son normalizados excepto el de cal libre y el de retenido que están validados según la norma correspondiente.

5.4.5.3 La gama y la exactitud de los valores que se obtiene a partir de métodos validados es parte del informe.

5.4.6 Estimación de la incertidumbre de la medición. No existe la estimación de la incertidumbre de la medición en los ensayos.

5.4.7 Control de datos

5.4.7.1 Los cálculos y la transferencia de datos están sujetos a comprobaciones adecuadas de forma sistemática.

5.4.7.2 el laboratorio se asegura de que se cumplan cada uno de estos incisos mediante la seguridad informática, un sistema de salvadas de los resultados en disco duro y el software utilizado para el equipo de Rayos X (QCXL) procesador de datos esta validado. Pero falta incluir en el documento SL I 04 (Medición de muestras en el equipo de fluorescencia XRF y en el de difracción XRD.) en el punto 8 (registros) incluir las salvadas.

5.5 Equipos.

5.5.1 El laboratorio está dotado con todos los equipos de preparación de muestras, medición y ensayo requeridos para la correcta ejecución de los ensayos y/o calibraciones. Lo cual se puede observar en los documentos SL I 01 hasta la SL I 26.

5.5.2 Los equipos y su software que se utilizan para el ensayo, calibración y preparación de muestras son capaces de lograr la exactitud requerida y de cumplir las especificaciones pertinentes a los ensayos y/o calibraciones en cuestión. Se establecen programas de calibración para las magnitudes o los valores claves de los instrumentos donde estas propiedades tengan un efecto significativo en los resultados. Antes de

ponerse en servicio, los equipos, son calibrados o comprobados para asegurarse que cumplen con los requisitos específicos del laboratorio, y cumplen con las especificaciones normativas pertinentes.

5.5.3 Los equipos son operados por personal autorizado. Esta especificado para el uso del personal del laboratorio, las instrucciones actualizadas de utilización y mantenimiento de los equipos (incluyendo los manuales pertinentes suministrados por el fabricante del equipo).

5.5.4 Cada elemento del equipo y el software utilizados para los ensayos y calibraciones y que sean significativos en los resultados, están identificados de forma inequívoca.

5.5.5 Falta establecer registro de cada componente del equipamiento y su software que sean importantes para los ensayos o calibraciones.

5.5.6 Faltan los procedimientos para la manipulación segura, la transportación, el almacenamiento el uso y el mantenimiento planificado de los equipos de medición para asegurar el funcionamiento correcto y para prevenir la contaminación o deterioro.

5.5.7 Los equipos que hayan sido sometidos a una sobrecarga o a un uso inadecuado o que ofrecen resultados dudosos o que resulten haber estado defectuosos o fuera de los límites especificados son claramente etiquetados según el documento DG P 03 (Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes).

5.5.8 Todos los equipos que se encuentran bajo el control del laboratorio cuentan con un plan de calibración, pero no se ha tenido en cuenta etiquetarlos, rotularlos, codificarlos o identificarlos de alguna manera para identificar el estado de calibración, incluida la fecha en que fueron calibrados por última vez y su fecha de vencimiento o el criterio para la próxima calibración.

5.5.9 Como el laboratorio pertenece a una empresa y realiza ensayos para el control de la calidad, no sale ningún equipo del laboratorio.

5.5.10 Cuando se necesiten comprobaciones intermedias para mantener la confianza en el estado de la calibración de los equipos, se realizan comprobaciones de acuerdo a un procedimiento de calibración definido.

5.5.11 Falta incluir las salvas de las calibraciones del equipo de Rayos X en los procedimientos de calibración y verificar en los demás procedimientos.

5.5.12 Los equipos de ensayo y calibración, incluyendo el hardware y software, están protegidos contra ajustes que pudieran invalidar los resultados de los ensayos y/o calibraciones mediante sellos de protección.

5.6 Trazabilidad de las mediciones.

5.6.1 Todos los equipos utilizados para los ensayos y/o calibraciones, incluyendo los equipos para mediciones auxiliares, que tienen un efecto significativo en la exactitud o validez de los resultados del ensayo, calibración, son calibrados antes de ponerlos en servicio. El laboratorio tiene establecido un procedimiento para la calibración de sus equipos. Estos procedimientos están en las instrucciones SL I 12 Calibración del equipo de Blaine, SL I 13 Calibración del equipo de fluorescencia XRF y el de difracción XRD, SL I 14 Calibración de la bomba calorimétrica., SL I 17 Calibración del sulfurímetro., SL I 21 Determinación de composición química en el minipal. Además está el plan de verificación de los medios de medición. Pero falta incluir el programa para la selección, utilización, calibración, verificación y control en cada una de estas instrucciones.

5.6.2 Requisitos específicos.

5.6.2.1 Calibración. (No procede). Ya que el laboratorio no realiza calibraciones a terceros.

5.6.2.2 (No procede). Ya que el laboratorio no realiza calibraciones a terceros.

5.6.2.2 Ensayos

5.6.2.2.1 Para el laboratorio de la empresa Cementos Cienfuegos S.A los requisitos dados en 5.6.2.1 se aplican a los equipos de medición y ensayo utilizados en función de mediciones.

5.6.2.2.2 Todos los equipos del laboratorio están por el Sistema Internacional (SI) y se exige que al comprar un nuevo equipo este esté en el SI.

5.6.3 Patrones de referencia y materiales de referencia

5.6.3.1 Patrones de referencia

El laboratorio tiene un programa y un procedimiento para la calibración de sus patrones de referencia. Los patrones de referencia son calibrados por un organismo que puede proporcionar la trazabilidad tal como se describe en 5.6.2.1.

Estos patrones de medición de referencia son conservados por el laboratorio en lugares apropiados y son utilizados solamente para la calibración. Los patrones de referencia son calibrados antes y después de cualquier ajuste.

5.6.3.2 Materiales de referencia

Los materiales que se utilizan en el laboratorio son Materiales de Referencia Certificados, excepto el de rayos X.

5.6.3.3 Verificaciones intermedias

Falta por hacer el plan de verificación de las Muestras de Referencia, a pesar que si se realizan comprobaciones a las mismas.

5.6.3.4 Transporte y almacenamiento

El laboratorio tiene procedimientos para la manipulación, transportación, almacenamiento seguro y el uso de los patrones de referencia y los materiales de referencia a fin de prevenir su contaminación o deterioro y con el objetivo de proteger su integridad, esto se muestra en el documento SL I 19 (Manipulación y Almacenamiento de Patrones y Materiales de Referencia).

5.7 Muestreo

5.7.1 El laboratorio no realiza muestreo pero realiza inspecciones seguidas a los puntos de muestreo, supervisa la elaboración de las instrucciones y preparación de muestras, se describe como se seleccionan y extraen las muestras de los puntos de muestreo. Está en la instrucción SL I 02 (Preparación de muestras.).

5.7.2 (No Procede). Ya que el cliente es interno y no requiere de desviaciones, adiciones o exclusiones de los métodos.

5.7.3 El laboratorio tiene un modelo para registrar los datos pertinentes y las operaciones relacionadas con el muestreo que forma parte del ensayo o calibración que es efectuado. Estos registros incluyen el procedimiento de muestreo utilizado, la identificación del técnico que lo realiza, las condiciones ambientales (si es pertinente) y en el Gráficos de Control Analítico se establece la ubicación del muestreo en cada caso y, si resulta apropiado, las estadísticas en las que se basan los procedimientos de muestreo.

5.8 Manipulación de los ítems de ensayo y calibración.

5.8.1 Estos procedimientos están definidos en la ficha de proceso, está establecido el tiempo por el cual se deben guardar las copias duras de los resultados de los ensayos y/o calibraciones, así como los testigos de las muestras de los ensayos.

5.8.2 El laboratorio tiene un modelo de recepción el cual tiene una columna para las observaciones en la cual se registran todas las posibles anomalías o problemas.

5.8.3 Al recibirse el objeto de ensayo o calibración, son registrada toda anomalía o desviación de las condiciones normales o especificadas, según se describen en el modelo de recepción de muestras. Pero falta incluir en el documento SL I 02 (Preparación de muestras) la recepción e identificación o codificación de las muestras.

5.8.4 El laboratorio tiene un procedimiento y las instalaciones apropiadas para evitar el deterioro, la pérdida o el daño del objeto de ensayo o calibración durante su almacenamiento, manipulación y preparación. Se siguen las instrucciones de manipulación establecidas en el documento SL I 19 (Manipulación y Almacenamiento de Patrones y Materiales Referencia). Existe un almacén cerrado, climatizado y con control de acceso.

5.9 Aseguramiento de la calidad de los resultados de los ensayos y de las calibraciones.

5.9.1 El laboratorio tiene procedimientos de control de la calidad, para monitorear la validez de los ensayos y calibraciones realizados a través del procedimiento SL P 02

(Control de Calidad de los ensayos). Los datos resultantes son registrados de tal manera que se puedan detectar las tendencias y, donde sea posible, se aplican técnicas estadísticas a la revisión de los resultados. Este monitoreo es planificado y revisado, e incluye, pero no está limitado a los siguientes:

- a) utilización regular de materiales de referencia certificados y/o control interno de la calidad utilizando materiales de referencia secundarios;
- b) participación en programas de interoperación entre laboratorios o ensayos de aptitud;
- c) repetición de ensayos o calibraciones utilizando el mismo o diferente método;
- d) reensayo o recalibración de objetos retenidos;
- e) correlación de resultados para diferentes características de un objeto.

5.9.2 Los datos de control de la calidad de los ensayos son analizados y, si no satisfacen los criterios predefinidos, se toman una serie de acciones planificadas para corregir el problema y evitar consignar resultados incorrectos según el procedimiento SL P 02 (Control de Calidad de los ensayos).

5.10 Informe de los resultados.

5.10.1 Generalidades.

Los resultados de cada ensayo, calibración o series de ensayos o calibraciones realizados por el laboratorio se informan, en el caso de los ensayos de control se envían a través de un enviador de datos a la sala de control central de la operación (COP), los ensayos de conformidad se hacen por escrito firmados y acuíñados por el Gerente del área.

5.10.2 Informes de ensayo y certificados de calibración.

Como se ha explicado anteriormente al no estar el Laboratorio diseñado para el servicio de ensayos a tercero, solo para el control y certificación de la calidad de la producción, no se realizan informes según lo establece dicha norma.

5.10.3 Informes de ensayo.

5.10.3.1 No procede. (Ver apartado anterior)

5.10.3.2 (No Procede). Ya que el laboratorio no realiza muestreo y los informes de ensayos no contienen esta información.

5.10.4 Certificados de calibración. (No Procede). Ya que el laboratorio no realiza calibraciones a terceros.

5.10.5 Opiniones e interpretaciones.

El laboratorio por formar parte de la unidad organizativa de la empresa, además de dar el servicio de ensayo e información de resultados para el control de los diferentes procesos, partiendo de la interpretación de los resultados, alerta y orienta de las desviaciones a través de las vías establecidas en el sistema de gestión existente, como se ha referido con anterioridad.

5.10.6 Resultados de ensayo y calibración obtenidos de los subcontratistas. (No Procede). Ya que el laboratorio no subcontrata ni ensayos ni calibraciones.

5.10.7 Transmisión electrónica de los resultados.

Se cumple con lo establecido en el apartado 5.4.7 de la norma.

5.10.8 Formato de los informes y certificados.

Los formatos de los informes y certificados están diseñados para responder a cada tipo de ensayo o calibración realizado y reducir al mínimo la posibilidad de mal entendido o uso inadecuado y este formato está normalizado.

5.10.9 Modificaciones a los informes de ensayo y certificados de calibración. (No Procede). Ya que los informes de ensayos o certificados de calibración son estandarizados y no se modifican.

Posteriormente a la revisión de cada uno de estos documentos se conformo un listado de los requisitos que no se están cumpliendo en el laboratorio según la NC-ISO/IEC 17025:2006, el cual le presentamos a continuación:

2.4 Problemas Resultantes de la Revisión del Proceso.

1. Falta definir una política interna para el proceso de laboratorio.
2. El manual de calidad están definidas las funciones y responsabilidades de la dirección técnica y del responsable de la calidad, falta incluir la responsabilidad para el cumplimiento de la NC-ISO/IEC 17025:2006 en el documento DG P 03 (Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes).
3. El laboratorio tiene procedimientos para la compra CO P 02 (Compra de servicios), la recepción CO I 01 (Recepción en almacén.), falta el almacenamiento de los reactivos e insumos que el laboratorio necesita para los ensayos y las calibraciones.
4. Falta establecer un registro de quejas.
5. Cuando se cometen errores en los registros, cada error debe ser tachado, sin borrar ni deteriorar su legibilidad, anotándose el valor corregido al lado. Todas las alteraciones a los registros deben ser firmadas o visadas por la persona que realiza la corrección. En el caso de registros conservados electrónicamente, se toman medidas similares para evitar pérdida o cambio de los datos originales. Falta establecerlo en el apartado 8 del documento SL I 04 (Medición de muestras en el equipo fluorescente XRF y en el de difracción XRD).
6. Falta la estimación de la incertidumbre.
7. Falta establecer registro de cada componente del equipamiento y su software que sean importantes para los ensayos o calibraciones.

8. Faltan los procedimientos para la manipulación segura, la transportación, el almacenamiento el uso y el mantenimiento planificado de los equipos de medición para asegurar el funcionamiento correcto y para prevenir la contaminación o deterioro.
9. Todos los equipos que se encuentran bajo el control del laboratorio cuentan con un plan de calibración, pero no se ha tenido en cuenta etiquetarlos, rotularlos, codificarlos o identificarlos de alguna manera para identificar el estado de calibración, incluida la fecha en que fueron calibrados por última vez y su fecha de vencimiento o el criterio para la próxima calibración.
10. Falta incluir las salvas de las calibraciones del equipo de Rayos X en los procedimientos de calibración y verificar en los demás procedimientos.
11. Falta incluir el programa para la selección, utilización, calibración, verificación y control en cada una de las instrucciones siguientes:
 - SL I 12 Calibración del equipo de Blaine.
 - SL I 13 Calibración del equipo de fluorescencia XRF y el de difracción XRD.
 - SL I 14 Calibración de la bomba calorimétrica.
 - SL I 17 Calibración del sulfurímetro.
 - SL I 21 Determinación de composición química en el minipal.
12. Falta por hacer el plan de verificación de las Muestras de Referencia.

Después de realizado el diagnóstico del proceso según la NC-ISO/IEC 17025: 2006, el autor arriba a la siguientes conclusiones.

Conclusiones Parciales del Capítulo.

1. La solución a los problemas detectados durante el diagnóstico permite al proceso de Servicio de Laboratorio de la Empresa Cementos Cienfuegos S.A aumentar su competencia técnica.

CAPÍTULO III: Presentación de la solución de los problemas determinados en el capítulo anterior.

En el presente capítulo se procederá a darle solución al problema más perentorio de los encontrados en el diagnóstico realizado en el capítulo anterior, dado que por razones de tiempo, recursos y otros, no es posible darle solución a todo, aunque la bibliografía plantea que lo ideal sería resolver todos los problemas encontrados no es posible realizar esta feliz idea. Por lo que se ordenarán de manera jerárquica, dicho objetivo se llevará a cabo mediante un método Saaty, en esta investigación se utilizará el software Expert Choice en su versión 11, para el cual es necesario determinar el número de expertos que brindará la información necesaria y una serie de criterios bajo los cuales se ordenarán secuencialmente dichos problemas, una vez realizada la secuenciación se procederá a darle solución al problema más importante.

3.1 Cálculo del número de expertos.

Toda investigación debe poseer un momento donde el autor recurra a un grupo de personas declaradas como expertos para los fines de la investigación. Es importante medir el nivel de conocimientos que posee en el tema o la experticidad, justificando así su selección. Estos expertos le posibilitan al investigador adecuar las herramientas utilizadas. En este caso dicho grupo de expertos se selecciona con el objetivo de encontrar los criterios necesarios para la posterior secuenciación de los problemas y para obtener información necesaria para el desarrollo de la investigación.

El número de experto se calcula como:

$$n = \frac{p(1-p)k}{i^2}$$

Donde:

n = número de expertos.

p = proporción estimada de errores.

i = nivel de precisión deseado.

k = parámetro cuyo valor está asociado al nivel de confianza que sea elegido en la siguiente tabla:

Tabla 3.1: Valor de K para los diferentes valores de Confianza. Fuente. Elaboración Propia.

Nivel de Confianza (%)	Valor de K
99%	66.564
95%	38.416
90%	26.806

Se recomienda que el número de expertos varíe entre 7 y 15.

En este estudio se utilizan los siguientes datos para un nivel de confianza del 95%:

$$p = 0.05$$

$$k = 3.8416 \text{ (Nivel de confianza del 95\%)}$$

$$i = 0.15$$

$$n = 0.05(1-0.05) \frac{3.8416}{0.15^2}$$

$$0.182476 / 0.0225$$

$$n = 8.11 \approx 9.$$

Luego de realizado el cálculo, el resultado obtenido es 9 expertos, estos son:

Gerente General.

Gerente de Cálida.

Jefe de Laboratorio.

Especialista en Metrología.

Especialista del Sistema Integrado de Gestión (SIG).

Especialista en Ensayos Físicos, Químicos, Mecánicos (EFQM) (3).

Especialista en Medioambiente

En el trabajo se mide el nivel de conocimiento a través del método conocido como: coeficiente de competencia para el cual se utiliza la siguiente fórmula:

Coeficiente de Competencia: $K_{Comp.} = \frac{1}{2}(K_c + K_a)$.

Donde:

K_c = Coeficiente de Conocimiento (0-10)

K_a =Coeficiente de argumentación (0,05-0,5)

$K_{Comp.} > 0,8$

El cálculo se puede observar en el **anexo 3.1**.

Como resultado se obtuvo la siguiente tabla en la cual se muestra cada uno de los expertos con su respectivo coeficiente de competencia (Coeficiente K).

Tabla 3.2 Orden de los expertos de acuerdo al coeficiente K. Fuente: Elaboración Propia.

Expertos	Coef. K
Gerente de Calidad.	4.100
Especialista en Metrología.	3.700
Jefe de Laboratorio.	3.550
Especialista en (EFQM) (2)	3.045
Especialista en (EFQM) (3)	3.040
Especialista en (EFQM) (1)	3.005
Gerente General.	2.545
Especialista del (SIG)	2.540
Especialista en Medioambiente	2.040

Como se puede observar en la tabla anterior todos los expertos cumplen con la condición de que su coeficiente de conocimiento o competencia está por encima de 0,8 lo cual corrobora lo planteado en la bibliografía que ($K_{Comp.} > 0,8$), por lo tanto son aptos para la realización de la investigación.

Luego de calcular el número de expertos y el coeficiente de competencia o experticidad se procede a través de una tormenta de ideas o lluvia de ideas a seleccionar los criterios bajo los cuales se realizarán la priorización.

3.2 Tormenta de ideas.

La tormenta de ideas es una técnica de grupo para la generación de ideas nuevas y útiles, que permite, mediante reglas sencillas, aumentar las probabilidades de innovación y originalidad. Esta herramienta es utilizada en las fases de identificación y definición de proyectos, en el diagnóstico de las causas y las soluciones. La tormenta de ideas (también llamada Brainstorming) es, ante todo, un medio probado de generar muchas ideas sobre un tema. Es un medio de aumentar la creatividad de los participantes. Normalmente, las listas de ideas resultantes contienen mayor cantidad de ideas nuevas e innovadoras que las listas obtenidas por otros medios. Los errores más comunes son utilizar este tipo de generación de ideas como un sustituto de los datos y la mala gestión de las sesiones, ya sea a causa del dominio de una sola o unas pocas personas en la presentación de ideas o por la incapacidad del grupo para no juzgar ni analizar hasta que la lista de ideas se termine. Es por ello que la bibliografía recomienda que al frente de la sección de trabajo este una persona que labore como mediador y que no permita que un participante imponga su criterio por encima de otro o que se deje de escuchar un participante tímido; incluso se pide la utilización de otra técnica como apoyo, por ejemplo reducción de listado.

Por lo antes mencionado es válido aclarar que dicha tormenta de ideas se efectuó en varios momentos, estos se dividieron en sesiones en grupo, es decir todos los expertos juntos debatiendo y dando su opinión y en otros momentos se hicieron encuentros por separados con cada uno de los expertos con el objetivo de evitar que dichas personas se cohibieran en las reuniones en grupo, ya sea por estar frente a su jefe o por coincidir en otro criterio, una vez dada por terminada la lluvia de ideas se procedió a la reducción de listado ya que entre las ideas dadas habían muchas que querían decir lo mismo, es decir eran redundantes.

Como resultado de la aplicación de esta técnica y la reducción de listado se obtuvieron los siguientes criterios:

1. Mayor precisión en los resultados.
2. Reconocimiento para el laboratorio.
3. Credibilidad para el cliente.

Una vez calculado y seleccionados los expertos, y obtenidos los criterios se procede a la secuenciación de los problemas obtenidos en el capítulo precedente, para este propósito se utiliza el método desarrollado por Tomas Saaty.

3.3 Secuenciación de los problemas.

En este epígrafe el autor recomienda el método desarrollado por el Dr. Tomas Saaty, en su libro “Evaluación y decisión Multicriterio, Reflexiones y Experiencias” (junio 1998), (Tomas Saaty, 1998), el cual nos permitirá ordenar secuencialmente los problemas obteniendo así el problema más perentorio para su posterior solución.

Con el número de expertos ya calculado y seleccionado los criterios se procede a la aplicación del método de evaluación multicriterio desarrollado por Saaty pero esta vez utilizando el software Expert Choice en su versión 11.1.0.3238.

Expert Choice es un software orientado a la toma de decisiones, es decir lo que se puede lograr con este es elegir al mejor dentro de una lista de varios, de acuerdo a múltiples criterios.

El funcionamiento del Expert Choice está basado en el Proceso Jerárquico Analítico (AHP, Analytic Hierarchy Process). Un enfoque multicriterio jerárquico de toma de decisiones desarrollado por el Doctor Tomas Saaty de la Universidad de Pennsylvania. Él manifiesta que el AHP es una teoría psicofísica que puede cambiar la percepción humana, el interés y la experiencia para priorizar opciones en situaciones complejas. Es uno de los enfoques de toma de decisiones más ampliamente conocidos en el mundo de hoy.

Expert Choice asiste a los decisores organizando la información relacionada a la complejidad del problema en un modelo jerárquico consistente en un objetivo, escenarios posibles, criterios y alternativas. Usando el método, único de Expert Choice, de comparación par a par, se puede evaluar la importancia de los criterios, las preferencias de las alternativas, y las posibilidades de los escenarios y sintetizar sus comparaciones para llegar a la mejor decisión. Como resultado de realizar las tareas previas tales como estructuración del problema, entrada de prioridades, evaluaciones de mejoras y realizando análisis de sensibilidad “Que pasa si”.

Expert Choice también ha sido usado exitosamente en una variedad de aplicaciones incluyendo:

- Priorización y Evaluación de Proyectos.
- Planeamiento estratégico.
- Análisis de costo/beneficios.
- Negociación y solución de conflictos.
- Evaluación de los planes de inversión/desinversión.
- Planeamiento mediante los procesos de avanzada y retroceso.
- “Benchmarking.”
- Asignación de recursos.
- Administración de calidad total.
- Evaluaciones de funciones y adquisiciones.
- Contratación, evaluación y promoción de empleados.
- Satisfacción del cliente.

Compañías que disfrutaron de sus ventajas son: IBM, Good Year, Ford Motor Co, Texaco, General Motor, Citibank, Westinghouse, Eastman, 3M, AT&T/Bell Labs, NASA, IRS, Anderson, Consulting Co, Universidad de Harvard, Universidad de Yale, MIT, Escuela Naval War. En el Perú, Telefónica, TIM, Banco de Crédito, Marina de Guerra, y las principales Universidades. (Saaty et al., 2009)

3.3.1 Pasos para la construcción del modelo jerárquico:

Primer paso: definición del problema: Ordenamiento secuencial de los problema para su posterior solución.

Segundo paso: formulación del objetivo: Establecer un orden secuencial para la solución de los problemas encontrados en el capítulo anterior.

Tercer paso: Identificación de criterios. El grupo de expertos por consenso general propone tres criterios para establecer el orden secuencial de solución de los problemas de manera que quede en primer lugar el más importante.

- Mayor precisión en los resultados.
- Reconocimiento para el laboratorio.
- Credibilidad para el cliente.

Cuarto paso: Identificación de alternativas. Las alternativas están constituidas por los por los problemas encontrados en el diagnostico en el capítulo anterior. Estos son:

1. Falta definir una política interna para el proceso de laboratorio.
2. El manual de calidad están definidas las funciones y responsabilidades de la dirección técnica y del responsable de la calidad, falta incluir la responsabilidad para el cumplimiento de la NC-ISO/IEC 17025:2006 en el documento DG P 03 (Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes).
3. El laboratorio tiene procedimientos para la compra CO P 02 (Compra de servicios), la recepción CO I 01 (Recepción en almacén.), falta el almacenamiento de los reactivos e insumos que el laboratorio necesita para los ensayos y las calibraciones.
4. Falta establecer un registro de quejas.
5. Cuando se cometen errores en los registros, cada error debe ser tachado, sin borrar ni deteriorar su legibilidad, anotándose el valor corregido al lado. Todas

las alteraciones a los registros deben ser firmadas o visadas por la persona que realiza la corrección. En el caso de registros conservados electrónicamente, se toman medidas similares para evitar pérdida o cambio de los datos originales. Falta establecerlo en el apartado 8 del documento SL I 04 (Medición de muestras en el equipo fluorescente XRF y en el de difracción XRD).

6. Falta la estimación de la incertidumbre.
7. Falta establecer registro de cada componente del equipamiento y su software que sean importantes para los ensayos o calibraciones.
8. Faltan los procedimientos para la manipulación segura, la transportación, el almacenamiento el uso y el mantenimiento planificado de los equipos de medición para asegurar el funcionamiento correcto y para prevenir la contaminación o deterioro.
9. Todos los equipos que se encuentran bajo el control del laboratorio cuentan con un plan de calibración, pero no se ha tenido en cuenta etiquetarlos, rotularlos, codificarlos o identificarlos de alguna manera para identificar el estado de calibración, incluida la fecha en que fueron calibrados por última vez y su fecha de vencimiento o el criterio para la próxima calibración.
10. Falta incluir las salvas de las calibraciones del equipo de Rayos X en los procedimientos de calibración y verificar en los demás procedimientos.
11. Falta incluir el programa para la selección, utilización, calibración, verificación y control en cada una de las instrucciones siguientes:
 - SL I 12 Calibración del equipo de Blaine.
 - SL I 13 Calibración del equipo de fluorescencia XRF y el de difracción XRD.
 - SL I 14 Calibración de la bomba calorimétrica.
 - SL I 17 Calibración del sulfurímetro.
 - SL I 21 Determinación de composición química en el minipal.

12. Falta por hacer el plan de verificación de las Muestras de Referencia.

La estructura jerárquica del problema dentro del enfoque de Saaty queda representada en la **figura 3.1**. El primer nivel o jerarquía de la estructura corresponde al propósito (objetivo) del problema, el segundo a los criterios y el tercero a las alternativas o procesos.

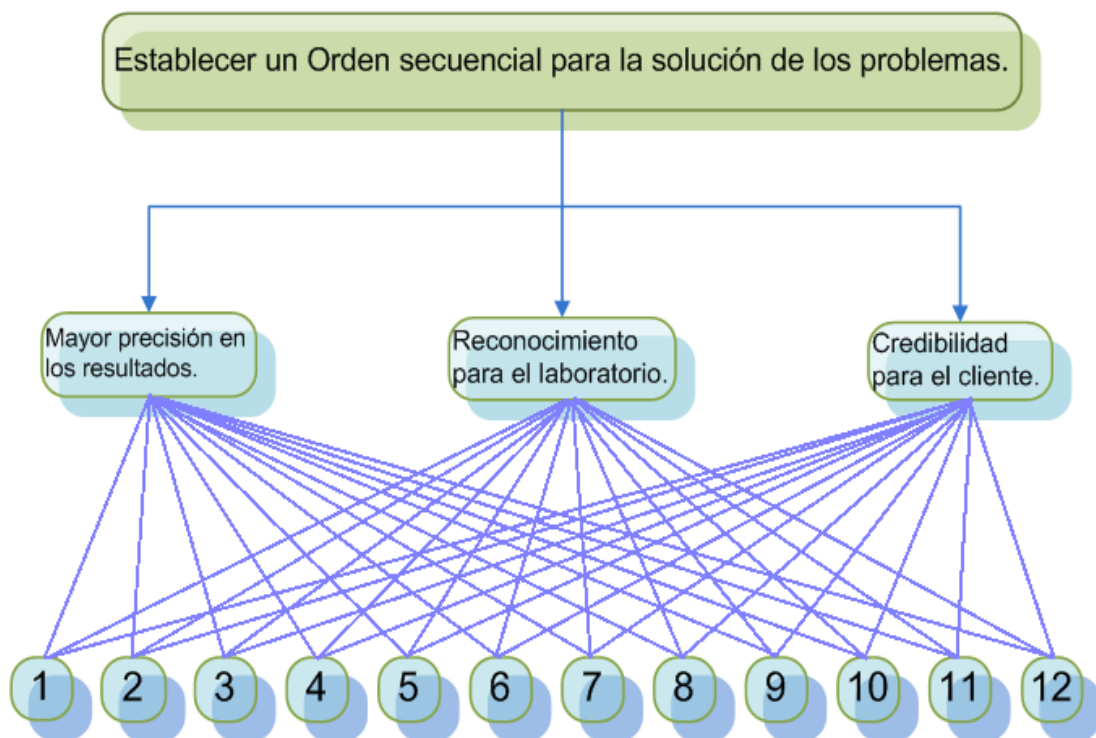


Figura 3.1: La estructura jerárquica del problema. Fuente Elaboración propia

Quinto paso: Evaluación del modelo jerárquico.

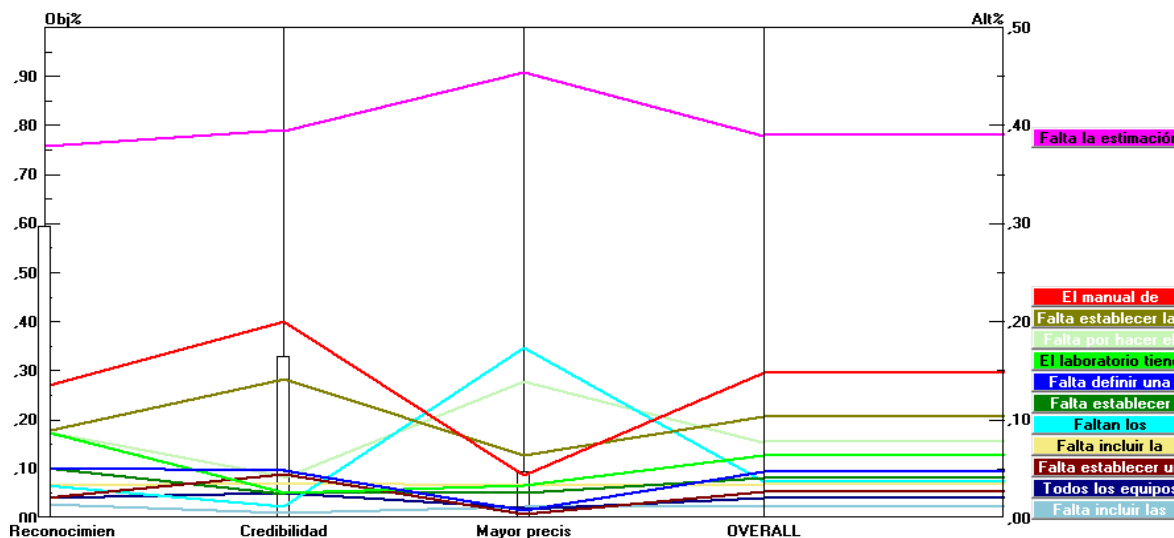
Dicha evaluación se realiza con la utilización del software Expert Choice en su versión 11.1.0.3238. Los datos para el procesamiento se obtuvieron a través de una votación de los expertos de acuerdo a la importancia que cada uno de ellos le atribuía a los problemas teniendo en cuenta los criterios seleccionados, el formato de esta votación se observa en el **anexo 3.2**

Luego de analizar los datos se obtuvieron los resultados del software Expert Choice los cuales se pueden observar en **anexo 3.3** y el **anexo 3.4** donde se muestran las tablas de salida de este programa, dentro de estas tablas se encuentran la secuencia para cada uno de los criterios y las matrices de las alternativas contra los criterios, pero la que interesa para la investigación es la que se presenta a continuación:



Como se muestra en esta tabla de salida del software, el principal problema es la falta de estimación de la incertidumbre, por lo que este será el problema a solucionar. Esto se puede corroborar en el siguiente gráfico:

Figura 3.2: Gráfico de sensibilidad. Fuente: Software Expert Choice.



El gráfico muestra la trayectoria de cada una de los problemas (alternativas) al pasar por cada uno de los criterios, por ejemplo en la incertidumbre los expertos le dieron menor importancia en el criterio de Reconocimiento para el laboratorio, mientras que en el criterio de Credibilidad para el cliente aumenta su importancia y por último alcanza su mayor importancia en el criterio de Mayor precisión en los resultados. Por lo antes expuesto en ambas tablas de salida es que nuestro problema a resolver es la estimación de la incertidumbre.

Para solucionar este problema se debe hacer una verificación del sistema metrológico del laboratorio objeto de estudio para comprobar si dicho sistema es bueno con el objetivo de testificar que se está trabajando con mediciones correctas y luego calcular la incertidumbre mediante el método descrito en la NC-TS 367: 2004 Guía para la estimación y expresión de la Incertidumbre de la medición en análisis químico.

Para este trabajo el autor recomienda realizar una investigación en el campo de la calidad de las mediciones utilizando un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) tal como recomiendan los autores Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar en su libro “Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma” (2007). (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2007).

Para dicha investigación se utilizará el software Statgraphics Centurion XV versión 15.2.14. y se escogieron dos ensayos para la investigación debido a la importancia que estos representa para la calidad del producto terminado estos ensayos fueron, el Blaine y el análisis químico especialmente en el Silicio (Si).

3.4 Análisis de la calidad de las Mediciones.

El siguiente análisis se realiza dado que es de suma importancia para el investigador saber cómo se encuentra el sistema de mediciones en el laboratorio objeto de estudio, dado que a partir de este análisis se derivaran posteriormente otras investigaciones, tales como la que se acometerá a la postre en esta investigación como es el caso del cálculo de la incertidumbre de la medición.

Para este análisis se tomaron tres analistas, para la selección de estas personas se lepidio la opinión a la jefa de laboratorio la cual recomendó que se escogiera a uno de los veteranos (Elías), uno con poca experiencia (Erislandy) y uno que estuviera entre ellos (Arelis), cada uno midiendo diez partes en tres ensayos, para un total de 90 muestras como se muestra en el **anexo 3.5** para ambos ensayos y en el **anexo 3.6** las demás tablas de salida y gráficos restantes del análisis.

La extracción de las muestras se realizo teniendo en cuenta que estos ensayos son destructivos por lo que se siguieron las instrucciones dada por los autores Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar en su libro “Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma” (2007).(Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2007).

Se tomó una cantidad considerable del producto terminado, se homogenizó y se dividió en varias porciones de manera tal que cada analista midiera la misma muestra. De esta manera se busca seleccionar las muestras de forma que se minimice la variación o diferencia entre las porciones de la misma muestra. Es importante señalar que si no se cumple el supuesto de homogeneidad de las porciones en la misma muestra, la Repetitibilidad y la Reproducibilidad pueden resultar sobreestimadas.

3.4.1 Análisis de la calidad de las Mediciones para el ensayo de Blaine.

En el caso del análisis del Blaine se obtuvieron los siguientes resultados:

Estudio R&R - Método por ANOVA - Medidas

Operadores: Operadores

Partes: Partes

Medidas: Medidas

ANOVA: cruzado

3 operadores 10 partes 3 ensayos

Tabla 3.3: Reporte de Repetibilidad y Reproducibilidad del Calibrador. Fuente: Software Statgraphics.

<i>Medición</i>	<i>Sigma</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Varianza</i>	<i>Porcentaje de</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>Unidad</i>	<i>Estimada</i>	<i>Variación Total</i>	<i>Estimada</i>	<i>Contribución</i>	<i>de R&R</i>
Repetibilidad	4,68923	17,4393	21,9889	3,04129	67,76
Reproducibilidad	3,09274	11,5019	9,56502	1,32294	29,47
Interacción	0,947598	3,52413	0,897942	0,124195	2,77
R & R	5,69665	21,1859	32,4519	4,48843	100,00
Partes	26,2785	97,73	690,56	95,5116	
Variación Total	26,8889	100.0	723,012		

Número de categorías distintas (ndc): 6

Repetibilidad – Estimación de la variación entre mediciones hechas por el mismo operador sobre la misma parte, usualmente atribuida al calibrador en este caso es del 67,76%.

Reproducibilidad – Estimación de la variación entre mediciones hechas por diferentes operadores sobre la misma parte, usualmente atribuida al operador para este caso es de un 29,47%.

Interacción – Si es requerida, calcula la estimación de la variación debida a la interacción entre operadores y partes. Una interacción puede ocurrir si las diferencias entre operadores varían de una parte a otra para esta investigación es del 2,77%.

R & R – Estimación del error de medición total, calculado agregando las varianzas debidas a la Repetibilidad y Reproducibilidad es de un 21,1859%. La regla del pulgar citada por la AIAG es que si la VT es menor que el 10%, entonces el sistema de medición es generalmente estimado como aceptable. En ciertos casos, valores entre 10% y 30% pueden también ser aceptables.

Partes – Estimación de la variabilidad actual acerca de los artículos medidos. Si el proceso de medición es capaz de separar artículos buenos de artículos malos, esta puede ser grande comparado con la variabilidad del proceso de medición.

Total – Suma de la variabilidad debida al proceso de medición y la variabilidad actual acerca de los artículos.

Para cada unidad de medición (componente), las columnas de la tabla muestran:

Estimación de Sigma – La estimación de la desviación estándar $\sigma_{componentes}$.

Porcentaje de Variación Total – El porcentaje de la desviación estándar total:

$$100 \frac{\hat{\sigma}_{componentes}}{\hat{\sigma}_{total}} \%$$

Donde

$$\hat{\sigma}_{total} = \sqrt{\hat{\sigma}_{repetibilidad}^2 + \hat{\sigma}_{reproducibilidad}^2 + \hat{\sigma}_{partes}^2}$$

Estimación de Varianza – La estimación de la varianza para cada componente $\hat{\sigma}_{componentes}^2$

Porcentaje de Contribución – El porcentaje sobre la varianza total:

$$100 \frac{\hat{\sigma}_{componentes}^2}{\hat{\sigma}_{total}^2} \%$$

Porcentaje de R&R – El porcentaje sobre la varianza de la Repetibilidad y Reproducibilidad combinada.

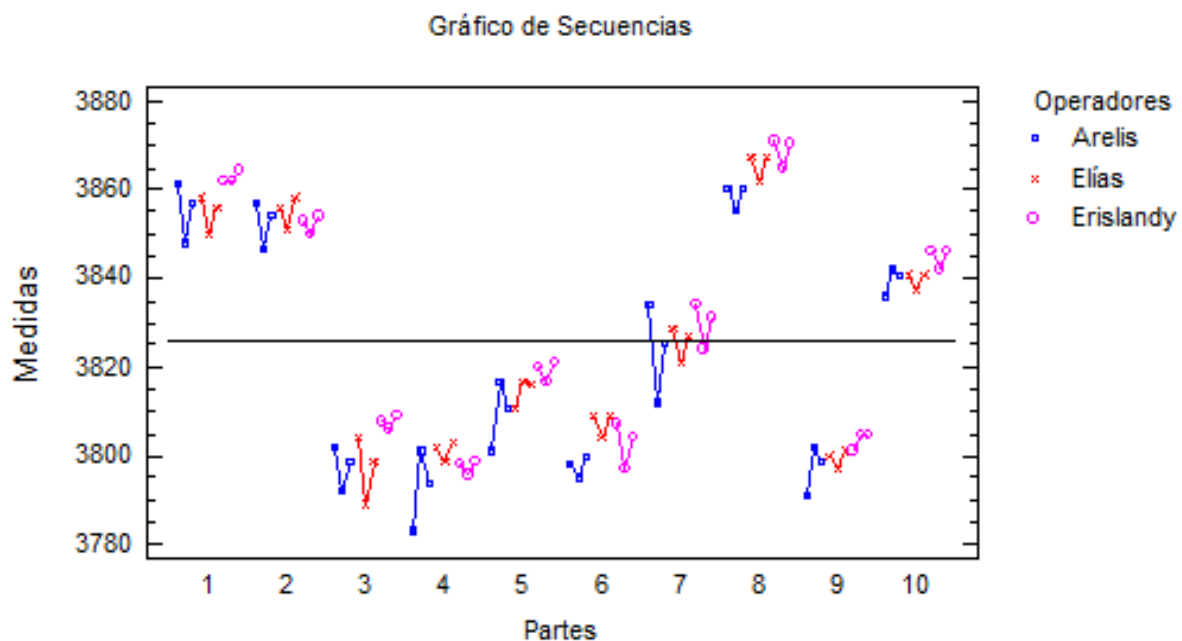
$$100 \frac{\hat{\sigma}_{repetibilidad}^2}{\hat{\sigma}_{R\&R}^2} \% \quad \text{y} \quad 100 \frac{\hat{\sigma}_{reproducibilidad}^2}{\hat{\sigma}_{R\&R}^2} \%$$

Un estadístico más que también será presentado:

Número de Distintas Categorías (ndc) – De acuerdo a AIAG (2002), *ndc* representa

“el número de distintas categorías que son confiablemente distinguidas por el sistema de medición”. Esto es básicamente una medición de cuantos intervalos de confianza al 97% para el valor verdadero inicialmente se miden para poder estimar el rango dentro de la variación parte-por-parte. Valores mayores o iguales a 5 son deseables, por lo que el obtenido es correcto dado que este es 6.

También se muestra en la **figura 3.3**: El Gráfico de Secuencias. Fuente: Software Statgraphics.



En el mismo se analizan los datos para un estudio del calibrador. El *Gráfico de Corridas* grafica cada una de las mediciones en el estudio, agrupadas por operador y partes. Si el sistema de medición es bueno, es capaz de distinguir una parte de otra, las mediciones no pueden dispersarse aleatoriamente, pero mostrarían obvios grupos por partes.

Pero en realidad la tabla más importante es la del análisis de tolerancia en la cual se define, según los criterios dados por los autores (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2007), si el sistema de medición en estudio es excelente, bueno, marginalmente aceptable o inaceptable la cual se presenta a continuación:

Tabla 3.4: Tolerancia = 300,0 unidades (de 3600,0 a 3900,0). Fuente: Software Statgraphics.

<i>Medición</i>	6,0	<i>Porcentaje de</i>
<i>Unidad</i>	<i>Desv. Estd.</i>	<i>Tolerancia</i>
Repetitibilidad	28,1354	9,37846
Reproducibilidad	18,5564	6,18547
Interacción	5,68559	1,8952
R & R	34,1799	11,3933
partes	157,671	52,557

La tabla muestra:

6.0 Desv. Est. - Despliega $K\sigma$ para cada uno de los diferentes componentes del error. Si K es igual a 6.0, esto estima un intervalo dentro de un componente del error asociado a poder mentir el 99.73% de las veces.

Porcentaje de Tolerancia – El porcentaje de la tolerancia representado por $K\sigma$:

$$100 \frac{K\hat{\sigma}_{\text{componentes}}}{\text{tolerancia}} \%$$

Dada una tolerancia o especificación de 300,0 unidades de ancho (+/-150,0), puede esperarse que la variabilidad proveniente del proceso de medición cubra el 11,3933% del *Porcentaje de Tolerancia* de ese rango. Es de interés particular el *Porcentaje de Tolerancia* debido al *R&R*, también llamado el “cociente precisión-por tolerancia” o *P/T*. Básicamente *P/T* es una medición de cuanta amplitud tiene la distribución del error de medición comparado contra las especificaciones inicialmente medidas para los artículos.

Los autores (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2007) proponen los siguientes criterios de aceptación:

- Por debajo del 10% es excelente el proceso.
- Del 10% al 20% es bueno, aceptable.

- Del 20% al 30% es marginalmente aceptable.
- Por encima del 30% es inaceptable.

Luego de haber realizado este análisis y revisado los criterios de aceptación dado por estos autores se llega a la conclusión de que el sistema metrológico utilizado para la determinación del Blaine en el laboratorio es bueno ya que su porcentaje de tolerancia (P/T) es igual a 11,3933% y se encuentra en un intervalo del 10% al 20%.

Este mismo análisis se realizó para el análisis químico especialmente para el Silicio (Si) obteniéndose los siguientes resultados:

3.4.2 Análisis de la calidad de las Mediciones para el ensayo de análisis químico.

Estudio R&R - Método por ANOVA – Medidas

Operadores: Operadores

Partes: Partes

Medidas: Medidas

ANOVA: cruzado

3 operadores 10 partes 3 ensayos

Tabla 3.5: Reporte de Repetibilidad y Reproducibilidad de Calibrador. Fuente: Software Statgraphics.

Medición	Sigma	Porcentaje	Varianza	Porcentaje de	Porcentaje
Unidad	Estimada	Variación Total	Estimada	Contribución	de R&R
Repetitibilidad	0,0457894	17,1248	0,00209667	2,93257	63,85
Reproducibilidad	0,0325254	12,1642	0,0010579	1,47967	32,22
Interacción	0,0113638	4,24994	0,000129136	0,18062	3,93
R & R	0,0573036	21,431	0,0032837	4,59286	100,00
Partes	0,261174	97,6766	0,0682121	95,4071	
Variación Total	0,267387	100.0	0,0714958		

Número de categorías distintas (ndc): 6

Repetibilidad – Estimación de la variación entre mediciones hechas por el mismo operador sobre la misma parte, usualmente atribuida al calibrador en este caso es del 63.85%.

Reproducibilidad – Estimación de la variación entre mediciones hechas por diferentes operadores sobre la misma parte, usualmente atribuida al operador para este caso es de un 32.22%.

Interacción – Si es requerida, calcula la estimación de la variación debida a la interacción entre operadores y partes. Una interacción puede ocurrir si las diferencias entre operadores varían de una parte a otra para esta investigación es del 3.93%.

R & R – Estimación del error de medición total, calculado agregando las varianzas debidas a la Repetibilidad y Reproducibilidad es de un 21,431%. La regla del pulgar citada por la AIAG es que si la VT es menor que el 10%, entonces el sistema de medición es generalmente estimado como aceptable. En ciertos casos, valores entre 10% y 30% pueden también ser aceptables, dependiendo de las circunstancias.

Partes – Estimación de la variabilidad actual acerca de los artículos medidos. Si el proceso de medición es capaz de separar artículos buenos de artículos malos, esta puede ser grande comparado con la variabilidad del proceso de medición.

Total – Suma de la variabilidad debida al proceso de medición y la variabilidad actual acerca de los artículos.

Para cada unidad de medición (componente), las columnas de la tabla muestran:

Estimación de Sigma – La estimación de la desviación estándar $\sigma_{componentes}$.

Porcentaje de Variación Total – El porcentaje de la desviación estándar total:

$$100 \frac{\hat{\sigma}_{componentes}}{\hat{\sigma}_{total}} \%$$

Donde

$$\hat{\sigma}_{total} = \sqrt{\hat{\sigma}_{repetibilidad}^2 + \hat{\sigma}_{reproducibilidad}^2 + \hat{\sigma}_{partes}^2}$$

Estimación de Varianza – La estimación de la varianza para cada componente

$$\hat{\sigma}_{componentes}^2$$

Porcentaje de Contribución – El porcentaje sobre la varianza total:

$$100 \frac{\hat{\sigma}_{componentes}^2}{\hat{\sigma}_{total}^2} \%$$

Porcentaje de R&R – El porcentaje sobre la varianza de la Repetibilidad y

Reproducibilidad combinada.

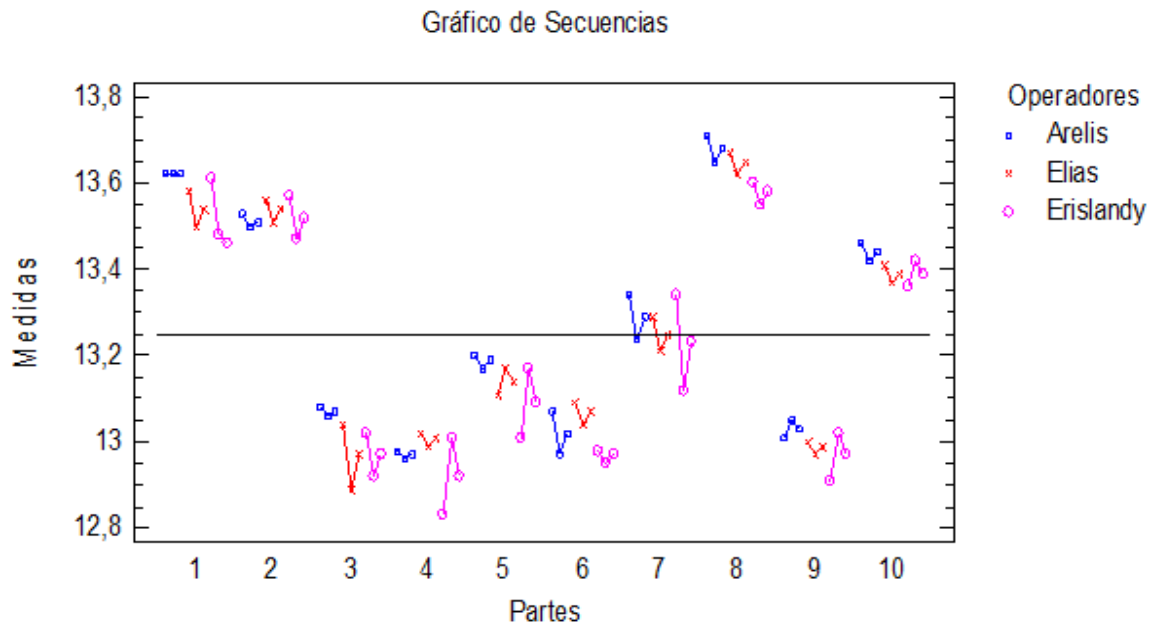
$$100 \frac{\hat{\sigma}_{repetibilidad}^2}{\hat{\sigma}_{R\&R}^2} \% \quad \text{y} \quad 100 \frac{\hat{\sigma}_{reproducibilidad}^2}{\hat{\sigma}_{R\&R}^2} \%$$

Un estadístico más que también será presentado:

Número de Distintas Categorías (ndc) – De acuerdo a AIAG (2002), *ndc* representa

“el número de distintas categorías que son confiablemente distinguidas por el sistema de medición”. Esto es básicamente una medición de cuantos intervalos de confianza al 97% para el valor verdadero inicialmente se miden para poder estimar el rango dentro de la variación parte-por-parte. Valores mayores o iguales a 5 son deseables, por lo que el obtenido es correcto dado que este es 6.

También se muestra en la **figura 3.4:** El Gráfico de Corridas. Fuente: Software Statgraphics.



Cuando analizamos los datos para un estudio del calibrador, un gráfico útil para examinarse primero es un *Gráfico de Corridas*. El *Gráfico de Corridas* grafica cada una de las mediciones en el estudio, agrupadas por operador y partes. Si el sistema de medición es bueno si es capaz de distinguir una parte de otra, las mediciones no pueden dispersarse aleatoriamente, pero mostrarían obvios grupos por partes.

Pero al igual que en el estudio anterior la tabla más importante es la del análisis de tolerancia la que es presentada a continuación.

Tabla 3.5: Tolerancia = 3,0 unidades (de 12,0 a 15,0). Fuente: Software Statgraphics.

Medición	6,0	Porcentaje de
Unidad	Desv. Estd.	Tolerancia
Repetitibilidad	0,274736	9,15787
Reproducibilidad	0,195152	6,50508
Interacción	0,0681828	2,27276
R & R	0,343822	11,4607
partes	1,56705	52,2349

La tabla muestra:

6.0 Desv. Est. - Despliega $K\sigma$ para cada uno de los diferentes componentes del error. Si K es igual a 6.0, esto estima un intervalo dentro de un componente del error asociado a poder mentir el 99.73% de las veces.

Porcentaje de Tolerancia – El porcentaje de la tolerancia representado por $K\sigma$:

$$100 \frac{K\hat{\sigma}_{\text{componentes}}}{\text{tolerancia}} \%$$

Dada una tolerancia o especificación de 3,0 unidades de ancho (+/-1,5), puede esperarse que la variabilidad proveniente del proceso de medición cubra el 11,4607% del *Porcentaje de Tolerancia* de ese rango. Es de interés particular el *Porcentaje de Tolerancia* debido al *R&R*, también llamado el “cociente precisión-por tolerancia” o *P/T*. Básicamente *P/T* es una medición de cuanta amplitud tiene la distribución del error de medición comparado contra las especificaciones inicialmente medidas para los artículos.

Al igual que en el análisis se llega a la conclusión de que el sistema metrológico utilizado para la determinación del Análisis Químico de la sustancia Silicio (Si) en el laboratorio es bueno ya que su porcentaje de tolerancia (*P/T*) es igual a 11,4607% y se encuentra en un intervalo del 10% al 20%.

Luego de realizar este análisis para estos dos ensayos y haber demostrado que la calidad de las mediciones en el laboratorio al menos para estos dos ensayos es buena se puede realizar el cálculo de la incertidumbre para estos mismos ensayos, a continuación se presenta dicho cálculo.

3.5 Cálculo de la incertidumbre de la medición.

Para hacer posible la estimación de la incertidumbre de la medición, debe identificarse un parámetro que describa el intervalo de la incertidumbre. En este caso el parámetro recomendado es la “desviación típica de la reproducibilidad interna”. Esta puede ser calculada a partir de los datos analíticos recopilados a partir del material analizado, bajo condiciones de reproducibilidad interna. Un pre-requisito para ello, es la disponibilidad de

un material, del cual puedan ser separadas y analizadas en el tiempo, idénticas porciones de ensayo. Este modelo suministra un panorama prácticamente real de la variación de los resultados que el material puede ocasionar.

Si por alguna razón no es posible analizar el material bajo condiciones de reproducibilidad interna, debe utilizarse un modelo alternativo. Esto puede ser necesario, por ejemplo, en los casos donde no se disponga, para estos propósitos, de un material de referencia o donde no sea posible preparar un material de control interno. En tales casos el laboratorio está obligado a utilizar datos generados a partir de réplicas de determinaciones. La desviación típica de la Repetibilidad está calculada, sin embargo, bajo condiciones que no están completamente de acuerdo con la definición de Repetibilidad.

Determinaciones duplicadas son realizadas en el material conteniendo el analito en niveles de concentración similares, en diferentes tiempos, y si resulta importante, utilizando diferentes analistas. Debe tenerse presente, que la desviación típica de la Repetibilidad estimada de esta forma, puede ser generalmente más pequeña que la desviación típica de la reproducibilidad interna calculada al mismo nivel de concentración, y así, puede resultar una subestimación de la incertidumbre de la medición.

Para esta investigación se utiliza el parámetro recomendado de la “desviación típica de la reproducibilidad interna” según se explica en la norma. (Oficina Nacional de Normalización (ONN), 2004)

3.5.1 Procedimiento recomendado para la estimación del intervalo de incertidumbre de la medición basado en la desviación típica de reproducibilidad interna.

Para determinar la desviación típica de la reproducibilidad interna relativa, RSD, se llevan a cabo determinaciones replicadas de una muestra auténtica, de un material de control interno o un material de referencia certificado. Un material para el control interno debe ser estable y debe estar disponible en cantidad suficiente para que pueda ser utilizado por un largo período de tiempo. Si se utiliza un material de referencia certificado, los datos obtenidos también pueden ser utilizados para investigar la presencia de errores

sistemáticos. Los materiales de referencia certificados, como regla, no deben ser utilizados solo para la estimación de los errores aleatorios.

Efectúe al menos 10 determinaciones a diferentes tiempos, si es importante, utilizando diferentes analistas. Si es necesario, la RSD, debe ser estimada a diferentes niveles del analito, por ejemplo, a niveles bajo, medio y elevado. Si la determinación está asociada con una norma legal, el nivel de la norma es adecuado para la estimación de la RSD. En el trabajo experimental, deben ser incluidas todas las matrices importantes.

Calcule s y RSD a partir de:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} ; \quad RSD = \frac{s}{\bar{x}}$$

donde:

s = desviación típica de la reproducibilidad interna

$\bar{x}$ = valor medio

$i = 1, 2, \dots, n$

n = número de determinaciones

La magnitud de la desviación típica de la reproducibilidad interna obtenida, debe ser evaluada con relación al campo de aplicación del método (idoneidad para el fin).

De igual forma, la medición de la incertidumbre puede ser estimada utilizando resultados de determinaciones replicadas llevadas a cabo con materiales de referencia, o de estudios donde el método bajo estudio fue utilizado en paralelo con otro bien definido, establecido como método de referencia. Los cálculos se llevan a cabo como se indica arriba, utilizando el valor de referencia en vez de la media. (Oficina Nacional de Normalización (ONN), 2004)

3.5.2 Expresión de la incertidumbre de la medición.

La incertidumbre de la medición es un parámetro que describe de manera cuantitativa la variación que ocasiona el analito presente en la muestra. Para que el estimado de la incertidumbre tenga valor, esta debe ser estimada y expresada de manera normalizada.

La incertidumbre de la medición puede ser expresada de cualquier forma, como una incertidumbre típica de la medición, definida como “incertidumbre de la medición del resultado considerando una desviación típica” o como una incertidumbre de la medición expandida, definida como “una cantidad que define el intervalo sobre el resultado, que incluye una amplia porción de la variación en la que es probable que se encuentre el analito presente en la muestra, y la cual es obtenida multiplicando la incertidumbre típica de la medición por el factor de cobertura”. Usualmente este factor de cobertura es igual a 2, en algunos casos puede utilizarse un factor igual a 3. La utilización de un factor de cobertura igual a 2 corresponde a un nivel de confianza de 95 % y un factor de cobertura igual a 3, a un nivel de confianza de más del 99 %.

La incertidumbre de la medición expandida U está dada por:

$U = k \times RSD \times c$ para el caso de Reproducibilidad interna.

$U = k \times RSDr \times c$ para el caso de Repetitibilidad.

Donde:

k = factor de cobertura.

RSD o $RSDr$ = desviación típica relativa hallada según se describió anteriormente.

c = valor de la medición o concentración del analito como lo llaman en la norma.

Se recomienda que el factor de cobertura utilizado sea 2.

La incertidumbre de la medición expandida, U , calculada representa la mitad del intervalo de incertidumbre de la medición. Usualmente, para expresar el intervalo completo de incertidumbre de la medición se utiliza el formato siguiente:

“resultado de la medición $\pm U$ ”.(Oficina Nacional de Normalización (ONN), 2004).

3.5.3 Expresión de la incertidumbre de la medición en un informe analítico.

La incertidumbre de la medición debe ser reportada de manera normalizada. El resultado, x , debe ser reportado junto con la incertidumbre de la medición expandida, U , calculada utilizando un factor de cobertura $k = 2$.

Se recomienda el formato siguiente:

*(Analito o valor de la medición): $x \pm U$ (unidades)**

La incertidumbre de la medición reportada es [una incertidumbre de la medición expandida de acuerdo con “Estimation and expression of measurement uncertainty in chemical analysis”, NMKL Procedure No. 5, version 1, 1997], calculada utilizando 2 como factor de cobertura [el cual da un nivel de confianza de aproximadamente 95 %].

Los textos dentro de los corchetes [] pueden ser omitidos o abreviados de manera apropiada.

Ejemplo:

Plomo: $0,025 \pm 0,006$ mg/kg *

*La incertidumbre de la medición reportada está calculada utilizando 2 como factor de cobertura, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

En algunos casos el factor de cobertura puede ser $k=1$ ó $k=3$. Estos corresponden a los niveles de confianza de 68 % y más de 99 %, respectivamente.

Cuando es utilizado el factor de cobertura $k=1$, por ejemplo la medición de la incertidumbre es estimada para una desviación típica, esta incertidumbre es llamada incertidumbre típica de la medición, y es designada por u . En tales casos se recomienda el formato de informe siguiente:

(Analito): x (unidades) con una incertidumbre típica de la medición u (unidades) [donde la incertidumbre típica de la medición está definida de acuerdo con “Estimation and expression of measurement uncertainty in chemical analysis”, NMKL Procedure No. 5, versión 1, 1997, y corresponde con una desviación típica].

Observe que no se recomienda la utilización del símbolo $\pm$ cuando se reporta la incertidumbre típica de la medición, ya que este símbolo se asocia usualmente con intervalos de confianza elevados.

El texto dentro de corchetes [] puede ser omitido o abreviado convenientemente.

Ejemplo:

Plomo: 0,025 mg/kg.

Incertidumbre típica de la medición: 0,003 mg/ kg *

*La incertidumbre típica de la medición corresponde con una desviación típica.

Los valores numéricos de los resultados y de la incertidumbre de la medición no deben ser expresados utilizando un número innecesario de cifras. Se recomienda que la incertidumbre de la medición se reporte utilizando dos cifras significativas y que el resultado sea redondeado para que se corresponda con el de la incertidumbre de la medición establecida. (Oficina Nacional de Normalización (ONN), 2004)

Luego de haber realizado la revisión de la bibliografía y analizar el método de cálculo se procede a efectuar dicho cálculo el cual se presenta a continuación:

3.6 Cálculo de Incertidumbre para las muestras de Blaine.

Tabla 3.6: Cálculo de la Incertidumbre para las muestras de Blaine.

# de Analistas	Fecha	X = (g/cm)	X - Xmedia	(X - X media) ²	Incertidumbre
1	25/03/2012	3772	- 5,39	154,85	54,32
2	26/03/2012	3726	- 51,39	2640,93	53,65
3	27/03/2012	3802	24,61	605,65	54,75
4	28/03/2012	3773	- 4,39	19,27	54,33
5	29/03/2012	3748	- 29,39	863,77	53,97
6	30/03/2012	3790	12,61	159,01	54,58
7	31/03/2012	3809	31,61	999,19	54,85
8	01/04/2012	3748	- 29,39	863,77	53,97

9	02/04/2012	3744	- 33,39	1114,89	53,91
10	03/04/2012	3766	- 11,39	129,73	54,23
11	04/04/2012	3805	27,61	762,31	54,79
12	05/04/2012	3794	16,61	275,89	54,63
13	06/04/2012	3791	13,61	185,23	54,59
14	07/04/2012	3819	41,61	1731,39	54,99
15	08/04/2012	3787	9,61	92,35	54,53
16	09/04/2012	3814	36,61	1340,29	54,92
17	10/04/2012	3753	- 24,39	594,87	54,04
18	11/04/2012	3752	-25,39	644,65	54,03
n = 18	Suma	67993	Suma	12583,17	
	Promedio	3777,39			

Después de realizar el cálculo de incertidumbre para nueve operarios midiendo dos muestras cada uno como se puede observar en la **tabla 3.6** según la norma NC-TC 367:2004 (Guía para la Estimación y Expresión de la Incertidumbre de la Medición en Análisis Químico), se obtuvo el resultado de que la incertidumbre de la medición oscila entre los valores 53,65 y 54,99 como se puede observar en la columna “Incertidumbre” de la tabla anterior.

Estos valores de incertidumbre son considerados por el laboratorio como buenos ya que el patrón, un Material de Referencia Certificado (MRC), que ellos utilizan trae una incertidumbre estimada 58 g/cm y la estimada para las mediciones del laboratorio están por debajo de ese valor.

La expresión de la Incertidumbre Expandida para una medición de 3752 g/cm con un factor de cobertura de dos es igual a 54,03 g/cm y se representa de la siguiente manera:

Blaine: $3752 \pm 54,03$ g/cm.

En la siguiente tabla se presenta el mismo análisis anteriormente realizado, pero en este caso para un ensayo de análisis químico específicamente a la sustancia Silicio (Si).

3.7 Cálculo de Incertidumbre para las muestras de Análisis Químico.

Tabla 3.7: Cálculo de la Incertidumbre para las muestras de análisis químico. Fuente: Elaboración propia.

# de Analistas	Fecha	X = %	X – X media	(X – X media) ²	Incertidumbre
1	25/03/2012	13,69	0,07	0,0049	0,0629
2	26/03/2012	13,68	0,06	0,0036	0,0629
3	27/03/2012	13,66	0,04	0,0016	0,0628
4	28/03/2012	13,65	0,03	0,0009	0,0627
5	29/03/2012	13,63	0,01	0,0001	0,0626
6	30/03/2012	13,59	– 0,03	0,0009	0,0625
7	31/03/2012	13,62	0	0	0,0626
8	01/04/2012	13,61	– 0,01	0,0001	0,0625
9	02/04/2012	13,59	– 0,03	0,0009	0,0625
10	03/04/2012	13,64	0,02	0,0004	0,0627
11	04/04/2012	13,60	– 0,02	0,0004	0,0625
12	05/04/2012	13,60	– 0,02	0,0004	0,0625
13	06/04/2012	13,60	– 0,02	0,0004	0,0625
14	07/04/2012	13,59	– 0,03	0,0009	0,0625
15	08/04/2012	13,61	– 0,01	0,0001	0,0626
16	09/04/2012	13,62	0	0	0,0626
n = 16	Suma	217,98	Suma	0,0156	
	Promedio	13,62			

Después de realizar el cálculo de incertidumbre para ocho operarios midiendo dos muestras cada uno como se puede observar en la **tabla 3.7** según la norma NC-TC 367:2004 (Guía para la Estimación y Expresión de la Incertidumbre de la Medición en Análisis Químico), se obtuvo el resultado de que la incertidumbre de la medición oscila entre los valores 0.0625% y 0.0629% como se puede observar en la columna “Incertidumbre” de la tabla anterior.

Estos valores de incertidumbre son considerados por el laboratorio como buenos ya que el Material de Referencia que se utiliza tiene una incertidumbre estimada de 0.094% y la estimada para las mediciones del laboratorio están por debajo de ese valor.

La expresión de la Incertidumbre Expandida para una medición de 13,62 % con un factor de cobertura de dos es igual a 0.0626% y se representa de la siguiente manera:

Silicio (Si): $13,62 \pm 0,0626\%$

Después de realizado estos dos análisis de incertidumbre se puede observar cómo en la columna de la “Incertidumbre” de cada una de las tablas, existe poca diferencia entre estas, esto lo permite la buena calidad de las mediciones la cual fue corroborada en el epígrafe anterior. Por lo que de esta manera podemos arribar a las conclusiones siguientes:

Conclusiones Parciales del Capítulo

1. El empleo de técnicas de evaluación multicriterios permite economizar tiempo y tener mayor precisión cuando se quieren ordenar alternativas o problemas en función de criterios.
2. Las mediciones tomadas en el laboratorio de la Empresa Cementos Cienfuegos S.A. está calificado como bueno, según resultados de los estudios de R&R.
3. El rango de las mediciones del laboratorio de la Empresa Cementos Cienfuegos S. A cumplen con los parámetros de incertidumbre establecido en los patrones.



Conclusiones Generales:

1. Contar con instrumentos de medición calibrados y reconocidos a través de los organismos internacionales y nacionales que permitan la trazabilidad al Sistema Internacional (SI), contribuye la aceptación de los productos en los diversos mercados tanto nacional como internacional, aumentando su demanda y proporcionando al consumidor la tranquilidad de estar comprando productos con calidad aceptada a nivel Internacional.
2. La solución a los problemas detectados durante el diagnóstico permite al proceso de Servicio de Laboratorio de la Empresa Cementos Cienfuegos S.A aumentar su competencia técnica.
3. El empleo de técnicas de evaluación multicriterios permite economizar tiempo y tener mayor precisión cuando se quieren ordenar alternativas o problemas en función de criterios.
4. Las mediciones tomadas en el laboratorio de la Empresa Cementos Cienfuegos S.A. está calificado como bueno, según resultados de los estudios de R&R.
5. El rango de las mediciones del laboratorio de la Empresa Cementos Cienfuegos S. A. cumplen con los parámetros de incertidumbre establecido en los patrones.



Recomendaciones:

1. Continuar con la solución de los problemas teniendo en cuenta el orden secuencial obtenido como resultado de la aplicación del método Saaty.
2. Continuar con el análisis de la calidad de las mediciones para los demás ensayos que se realizan en el laboratorio.
3. Realizar el cálculo de la incertidumbre en cada uno de los ensayos realizados en el laboratorio, utilizar para este cálculo la norma NC-TS 367: 2004 Guía para la estimación y expresión de la Incertidumbre de la medición en análisis químico.

Bibliografía

- Álvarez Álvarez, M. D. L. A. (2007). *Planificación, Control y Mejora del proceso de Calibración/Verificación de los instrumentos de Medición*. Maestría, CUJAE.
- Barraza Lino, R. E. (2001). La acreditación para la evaluación de la conformidad. *Página Principal*. Retrieved May 3, 2012, from <http://www.conacyt.gob.sv/revista-6-8-11-01.htm>.
- Beckwith, T., Marangoni, R., & Linhard, J. (2007). Medición. *Wikipedia, enciclopedia libre*. Retrieved May 3, 2012, from <http://es.wikipedia.org/wiki/Medici%C3%B3n>.
- Cedeño Tamayo, O. (2009). Indicadores del Desempeño para la Gestión Metrológica.
- Correa, A., & Burgos, C. (2007). Diseño e Implementación de una Metrología Estadística para ensayos de Productos Terminados en Cementos el Cairo S.A., (151).
- Franco, I. (2012a). Metrología. *Monografias.com*. Retrieved May 3, 2012, from <http://www.monografias.com/trabajos53/metrologia-y-calidad/metrologia-y-calidad.shtml>.
- Franco, I. (2012b). Metrología (página 2). *Monografias.com*. Retrieved May 3, 2012, from <http://www.monografias.com/trabajos53/metrologia-y-calidad/metrologia-y-calidad2.shtml>.
- Fundación PRODINTEC (Centro tecnológico para el diseño y la producción industrial de Asturias.), & CLUB Asturiano de Calidad. (2007). *La Metrología Dimensional en Asturias*. Asturias, España.
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2007). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. (Vols. 1-2, Vol. 2). La Habana: Félix Varela.

- Hernández Sampier, R. (2010). *Metodología de la Investigación* (Vols. 1-2, Vol. 1). La Habana: Félix Varela.
- Hernández Sardiñas, F. (1995). *Metrología Dimensional*. La Habana.
- ISO, & OIML. (2008). Vocabulario Internacional de Metrología-Conceptos Fundamentales y Generales, y Términos Asociados (VIM).
- León Rodríguez, R. M. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de cemento: Caso de estudio Cementos Cienfuegos S.A.* Grado, Carlos Rafael Rodríguez.
- Metrología Básica. (2012). . Retrieved May 3, 2012, from <http://www.metrologia-ema.com/pdf/metrologia-basica-pdf>.
- Ministerio del Poder Popular para el Comercio. (2012). Tipos de Metrología / SENCAMER. Retrieved May 3, 2012, from <http://www.sencamer.gob.ve/node/29>.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN), Cuba. (2009). Surgimiento de la Metrología en Cuba, Servicio Nacional de Metrología (SENAMET), Funciones del servicio Nacional de Metrología. Retrieved May 3, 2012, from <http://www.nc.cubaindustria.cu/metrologia.html>.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (1982). Decreto-ley 62.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (1995). Vocabulario internacional de términos generales y básicos de metrología.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (1996). Guía para la determinación de los intervalos de recalibración de los equipos de medición utilizados en laboratorios de ensayos.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (1998a). Decreto-ley numero 183 de la metrología.

- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (1998b). Decreto-ley no. 182.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (1999). Decreto no. 267.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (2000). Aseguramiento de la calidad para equipos de medición.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (2001a). Decreto no 271.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (2001b). Decreto no. 270.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (2004). Guía para la estimación y expresión de la incertidumbre de la medición en análisis químico.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (2007). Sistemas de gestión de las mediciones — requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición.
- Ospina Gutiérrez, L. M., Botero Arbeláez, M., & Mendoza Vargas, J. A. (2008, June). Importancia de la metrología al interior de las empresas para el aseguramiento de la calidad., (Número 38).
- Pacheco González, V. (2008). *Procedimiento de Aforo y Cálculo de Incertidumbre en Tanques Horizontales de Cabezas Planas, Incluidos y con Centros de Medición Desplazados*. Maestría, Carlos Rafael Rodríguez.
- Paz, E., Chichilla, W., & Velásquez, A. (2008). Metrología. Retrieved May 3, 2012, from http://www.hondurascalidad.org/metrologia.htm*comerciointernacional.
- Peña Sklyar, O. (2011). *Integración del Sistema de Gestión Energética al Sistema de Gestión de Cementos S.A.* Grado, Carlos Rafael Rodríguez.
- Regalado Contreras, L. (2011, May 20). Importancia de la metrología en la calidad de los alimentos. Presented at the Día de puertas abiertas en conmemoración del día mundial de la metrología.

- Reyes Ponce, Y., Hernández Leonard., A. R., & Hernández Ruiz, A. D. (2009a).
Universidad para todos Curso Metrología para la vida. Parte I. Academia.
- Reyes Ponce, Y., Hernández Leonard., A. R., & Hernández Ruiz, A. D. (2009b).
Universidad para todos Curso Metrología para la vida. Parte II. Academia.
- Ricardo Cabrera, H. (2009). *Procedimiento para la mejora continua de los procesos de la Empresa de Productos Lácteos Escambray*. Maestría, Carlos Rafael Rodríguez.
- Saaty, T. L., Forman, E. H., Shvartsman, A., Korpics, M. P., Selly, M. A., & Colby Ugo, J. (2009). Tutorial Expert Choice.
- Saaty, T. (1998). *Evaluación y decisión Multicriterio, Reflexiones y Experiencias*.
- Sandoval, A. M. (2001). La certificación de productos conforme a norma. *Página Principal*. Retrieved May 3, 2012, from <http://www.conacyt.gob.sv/revista-6-8-11-01.htm>.
- Soto, L. (2012). Conceptos Básicos de Metrología. Retrieved May 3, 2012, from <http://www.mitecnoloico.com/iem/Main/ConceptosBasicosDeMedicion>.
- Tévez, M. (2001). La importancia de la metrología en la implantación de la calidad. *Página Principal*. Retrieved May 3, 2012, from <http://www.conacyt.gob.sv/revista-6-8-11-01.htm>.
- Vanegas, E. de (2001). La infraestructura de la calidad o sistema MNPC: Herramienta básica de la competitividad. *Página Principal*. Retrieved May 3, 2012, from <http://www.conacyt.gob.sv/revista-6-8-11-01.htm>.

Anexo 1.1: Plan Anual de Verificación o Calibración de los equipos por cada área 2012 CEMENTOS CIENFUEGOS S.A.

[illegible]

15	POSTA MÉDICA
18	SUB 20
19	SUB 23
24	ALMACÉN CENTRAL
25	PAÑOL MECÁNICO
27	HORNO 3
30	CASA PETRÓLEO
31	LABORATORIO
32	SIST. PETRÓLEO H-1
33	ENFRIADOR CLINKER L-1
34	ENFRIADOR CLINKER L-3
35	SILOS CLINKER
36	MOLINO CEMENTO
37	ENTREGA
38	PUERTO
39	oxicorte
40	portátiles
41	Taller
42	Predictivo
43	Aforos

Anexo 1.2: Ejemplo de plan de calibración de los equipos en un área.



METROLOGÍA EN MOLINO DE CEMENTO.

Cementos Cienfuegos S.A.

No.	Código del equipo	Tipo de equipo	No. de serie	magnitud	Rango de medición	Ubicación	Valor de división	Modelo	Clase	País	Estado metrológico			Lugar de verificación		Datos de verificación		Próxima Verificación
						en proceso					Fecha última verificación	.# de Cert	Período de Verificación	Lugar de verificación	Entidad verificadora	patrón	Norma	

Anexo 1.3: Desglose del plan anual por meses y por magnitudes.

Meses	Magnitudes
Enero	Planificación, discusión del plan, solicitudes de compra, elaboración de contratos.
	Portátiles eléctricos.
Febrero	Tiempo.
	Presión puerto.
Marzo	Tamices.
	Predictivo.
Abril	Longitud.
	Fuerza.
	Físico químico.
Mayo	Flujómetro.
	Sondas lastrada.
Junio	Presión.
Julio	Temperatura.
Agosto	Varas medidoras de combustible.
Septiembre	BCI
	Báscula de Ferrocarriles
	Longitud (taller)
Octubre	Balanzas (almacén), lubricación predictivo y analíticas
	Electricidad
Noviembre	
Diciembre	
Total de instrumentos	

Anexo 1.4: Anexo A de La Disposición General 01 (DG-01) por la cual se rige la Empresa Cementos Cienfuegos S.A para planificar la próxima verificación o calibración de sus equipos.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN QUE SERÁN SOMETIDOS A LA VERIFICACIÓN				
DENOMINACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.	VERIFICACIÓN Y PLAZO DE VIGENCIA.			RESPALDO NORMATIVO
	VERIFICACIÓN		PERIODO MÁXIMO PERMITIDO(1)	
	INICIAL	POSTERIOR		
1	2	3	4	5
Instrumentos para pesar:				
• Mercancías para la exportación e importación,	X	X	1 vez al año	NC OIML R76-1:1999
• Mercancías para la venta a la población,	X	X	Muestra anual(1)	NC OIML R107-1:2000
• Mercancías en transacciones entre entidades,	X	X	1 vez al año	NC OIML R111:1999
• Equipos y cargas en las terminales de transporte,	X	X	1 vez al año	NC 90.06-05:83
• Cargas certificadas y usos postales,	X	X	1 vez al año	NC 90.06-08:84
• Materiales valiosos (metales y piedras preciosas)	X	X	1 vez al año	NC 90.06-11:80. NC –138:02

1. La muestra podrá tener una periodicidad diferente a la anual o menor, en ese caso la muestra y la periodicidad la propone cada Oficina Territorial de Normalización (OTN), de acuerdo a los requerimientos del Gobierno del Territorio, la cual puede variar para diferentes sectores, teniendo en cuenta las necesidades y posibilidades existentes. Al aprobarse estos plazos es responsabilidad de las OTN divulgar y supervisar el cumplimiento de los plazos establecidos.

Nota: Los ponderales de las balanzas se verifican como parte de la misma.				
Instrumentos para controlar y ajustar los dosificadores (masa o volumen) para productos preenvasados y preempacados.	X	X	1 vez al año	Vol. NC 90.04.06:83 , ISO 4787:84, Masa: NC 90.06.22:81
Medidas y medidor de longitud para:				
• Venta de productos (tela, cable, manguera, etc.)	X	X	Cada 2 años	NC OIML R 35::2000,
1	2	3	4	5
Levantamiento catastrales y geodésicos				
Teodolitos, distanciómetros y niveles geodésicos	X	X	1 vez al año	NC 321:2003, NC 322:2003 NC 323:2003
Aparato distribuidor de carburantes (ADC).	X	X	Cada 6 meses	NC 90.05.01:83, OIML R117:2000
Taxímetros.	X	X	1 vez al año	NC OIML R21: 2000
Contadores para:				
• Cobro del agua,	X	X	Por muestreo	NC 90.05.03:89; OIML R 49::2003;
• Cobro de la electricidad,	X	X	Por muestreo	NC 90.15.02:81
• Cobro del gas,	X	X	Por muestreo	OIML R31:1994; ISO 9695:1993
• Cobros del tiempo del servicio telefónico,	X	X	Cada 2 años	Procedimiento Provisional
• Venta de productos líquidos (Excluye combustible)	X	X	Cada 2 años	NC 90.05.01:83. OIML R 117:2000
• Venta de combustible a aeronaves	X	X	1 vez al año	OIML R 117:2000
• Venta de combustibles	X	X	1 vez al año	OIML R 117:2000
Instrumentos utilizados en servicios médicos:				
▪ Termómetros clínicos de vidrio.	X	-	-	NC 90.14.05:88
▪ Termómetros clínicos electrónicos	X	X	1 vez al año	NC 90.14.37:88
▪ Esfigmomanómetros.	X	X	1 vez al año	NC 90.07.09:81
▪ Instrumentos de pesar.	X	X	1 vez al año	NC 90 19.13:85
▪ Dosímetros de radioterapia	X	X	1 vez al año	NC 44:1999

▪ Electrocardiógrafos	X	X	1 vez al año	Proc. Provisional
Seguridad Técnica:				
Máquinas de ensayos mecánicos para la determinación de las características de materiales que impliquen la seguridad en construcciones, equipos y otros.	X	X	1 vez al año	NC 90.08.03:82; NC 90.08.09:87; NC 90.09.01:84; NC 90.09.02:84; NC 90.09.03:80.
1	2	3	4	5
Manómetros utilizados en mediciones para garantizar la protección del trabajo y seguridad técnica. Para presiones mayor que 0,07 MPa (0,7 kgf/cm ²).	X	X	1 vez al año	NC 90.07.03:85. NCOIML R101:2000
Medidores de dosis y tasa de dosis de radiaciones ionizantes.	X	X	1 vez al año	NC 44:1999
Manómetros para neumáticos de transporte automotor.	X	X	Cada 2 años	NC 90 07-02:84
Tanques para comercialización de productos líquidos:				
Tanques móviles que se utilicen en transacciones comerciales por la capacidad del tanque para líquidos de cualquier tipo. Incluye cualquier tipo de transporte.	x	x	1 vez al año o después de reparación (DR).	NC 90.04.01:88, NC 90.04.18:2003

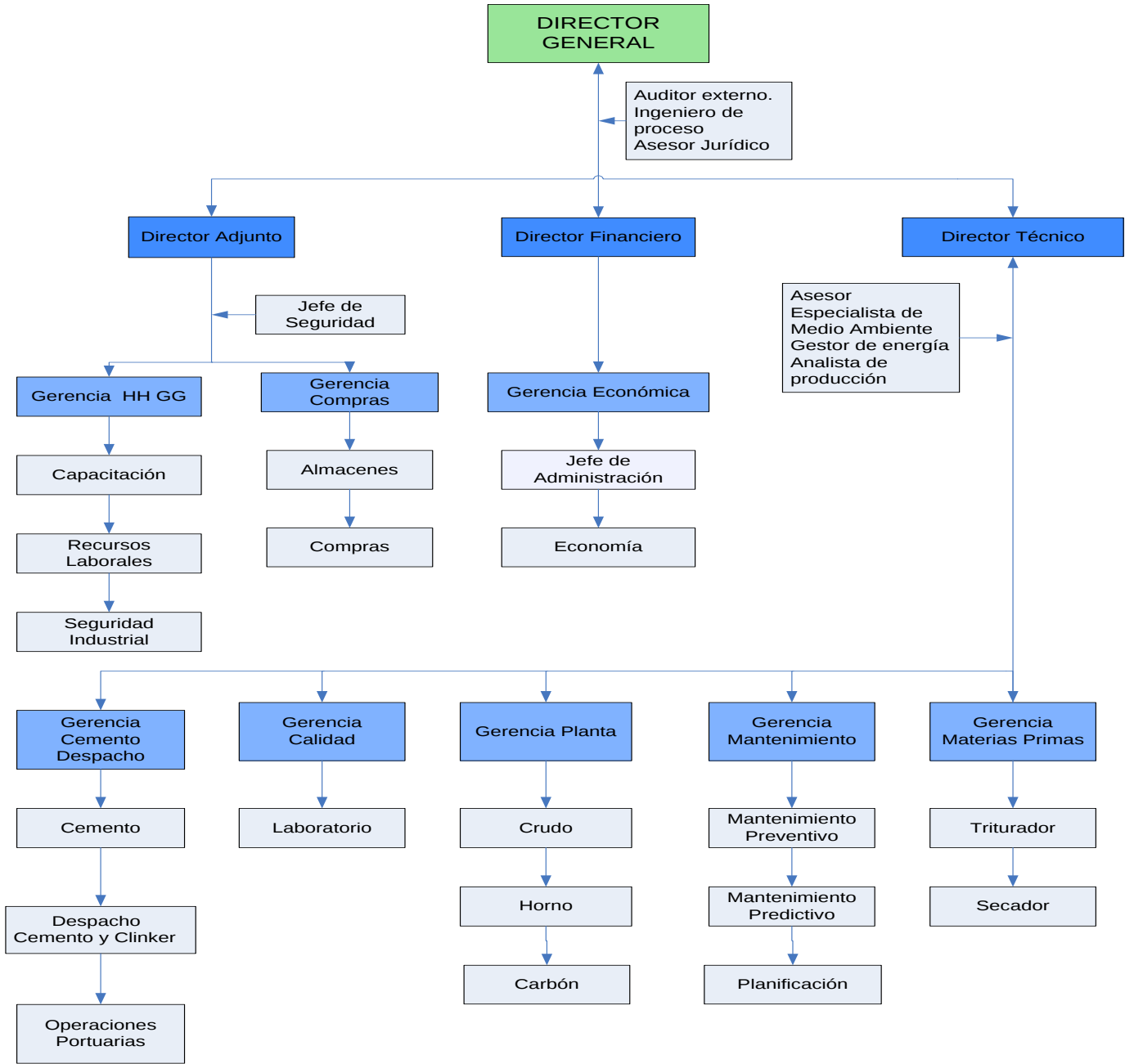
Tanques que intervengan en transacciones comerciales para el almacenamiento de líquidos hasta 10 m ³	X	X	Cada 5 años o (DR)	NC ISO 7507; NC 90.04.13:81
Tanques que intervengan en transacciones comerciales o almacenamiento de líquidos mayores de 10 m ³ .			Cada 10 años o (DR)	NC ISO 7507; NC 90.04.13:81
Instrumentos utilizados para la medición en el petróleo, sus derivados y Alcoholes:				
• Medidores de nivel.	X	X	Cada 3 años	OIML R 85:98
• Medidas con trazos (varas o cintas)	X	X	Cada 2 año	NC OIML R 35: 00
• Densímetros (alcoholímetros, areómetros) de vidrio.	X	-	-	NC 90.06.30:83; NC 90.13.17:81
• Densímetros electrónicos	X	X	1 vez al año	NC 90.13.42:88
• Termómetros de líquido en vidrio.	X	X	Cada 3 años	NC 90.14.09:81
• Termómetros electrónicos	X	X	1 vez al año	NC 90.14.37:88
• Medidas técnicas metálicas o plásticas	X	X	Cada 2 años	NC 90.04.14 :80

• Tanques de almacenamiento soterrados	X	X	Cada 7 años	NC 90.04.14:80 NC 90.04.01:88
1	2	3	4	5
Tanques de almacenamiento de combustible aéreos hasta 10 ³ m ³	X	X	Cada 5 años o (DR)	NC ISO 7507; NC 90.04.13:81;
Tanques de almacenamiento de combustible verticales mayores que 10 ³ m ³	X	X	Cada 10 años o (DR)	NC ISO 7507; NC 90.04.13:81;
Instrumentos que intervengan en la determinación de la calidad de los análisis clínicos, medicamentos y alimentos, los cuales son utilizados en los laboratorios clínicos, farmacéuticos, biotecnológicos y de alimentos:				
• Espectrofotómetros,	X	X	1 vez al año	NC 90.13.41:88
• Instrumentos de pesar,	X	X	1 vez al año	NC 90.06.(05:83, 08:84,11:80)
• Masas (pesas),	X	X	1 vez al año	NCOIMLR111:2000;NC90.06.04:84
• Medidas volumétricas de cristal,	X	-		ISO 4787:84

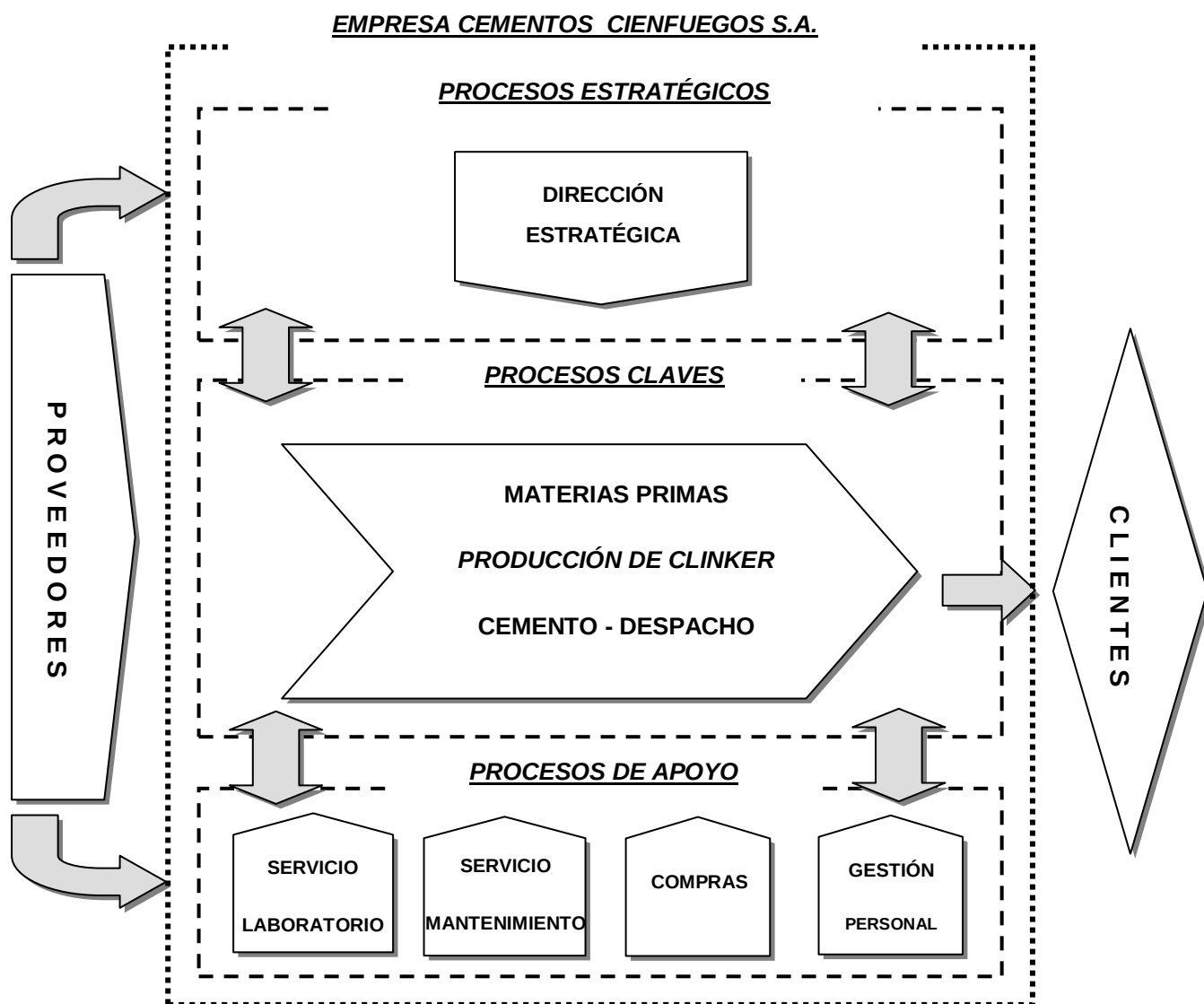
• Conductímetros,	X	X	1 vez al año	NC 90.13.30:85
• Medidores de pH,	X	X	1 vez al año	NC 90.13.14:86
• Polarímetros,	X	X	1 vez al año	NC 90.13.10:80
• Sacarímetros,	X	X	1 vez al año	NC 90.13.05:80
• Refractómetros,	X	X	1 vez al año	NC 90.13.11:86, NC 90.13.32:85.
• Colorímetros,	X	X	1 vez al año	NC 90.13.07:84
• Medidores de tiempo,	X	X	1 vez al año	NC 90.11.(03:84; 08:84; 09:84) NC 90.06.30:83; NC 90.13.17:81
• Densímetros (alcoholímetros, lactómetros) de vidrio,	X	-	-	NC 90.14.09:81; NC 90.13.17:81
• Densímetros electrónicos	X	X	1 vez al año	NC 90.13.17:81
• Termómetros de líquido en vidrio,	x	X	Cada 3 años	NC 90.13.42:88
• Termómetros electrónicos		X	1 vez al año	NC 90.06.30:83

Instrumentos utilizados para actividades deportivas Nacionales:				
1	2	3	4	5
Cronómetros	X	X	Cada 2 años	NC 90.11.03:84 NC 90.11.09:84
Cintas métricas	X	X	Cada 2 años	NC OIML R Guía 35:2000 NC 90.01.36.83
Instrumentos de pesar	X	X	Cada 2 años	NC OIML R 76-1:1999

Anexo 2.1: Estructura organizativa de Cementos Cienfuegos S.A.



Anexo 2.2: Mapa general de procesos de la Empresa Mixta Cementos Cienfuegos S.A.



Anexo 3.1: Cálculo de experticidad o competencia para el grupo de expertos.

Para la medición de experticidad del grupo de expertos se utilizo el método conocido como coeficiente de competencia el cual se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$K_{\text{Comp.}} = \frac{1}{2}(K_c + K_a)$$

Donde:

K_c = Coeficiente de Conocimiento (0-10)

K_a = Coeficiente de argumentación (0,05-0,5)

$$K_{\text{Comp.}} > 0,8$$

Cálculo del coeficiente de competencia para el Gerente General:

$$K_c = 5$$

$$K_a = 0.09$$

$$K_{\text{comp}} = \frac{1}{2}(5 + 0.09)$$

$$K_{\text{comp}} = \mathbf{2.545}$$

Cálculo del coeficiente de competencia para el Gerente Calidad:

$$K_c = 8$$

$$K_a = 0.2$$

$$K_{\text{comp}} = \frac{1}{2}(8 + 0.2)$$

$$K_{\text{comp}} = \mathbf{4.1}$$

Cálculo del coeficiente de competencia para el Jefe de Laboratorio:

$$K_c = 7$$

$$K_a = 0.1$$

$$K_{\text{comp}} = \frac{1}{2}(7 + 0.1)$$

$$K_{\text{comp}} = \mathbf{3.55}$$

Cálculo del coeficiente de competencia para el Especialista en Metrología:

$$K_c = 7$$

$$K_a = 0.4$$

$$K_{comp} = \frac{1}{2}(7 + 0.4)$$

$$K_{comp} = \mathbf{3.7}$$

Cálculo del coeficiente de competencia para el Especialista del (SIG):

$$K_{ick} = 5$$

$$K_a = 0.08$$

$$K_{comp} = \frac{1}{2}(5 + 0.08)$$

$$K_{Comp.} = \mathbf{2.54}$$

Cálculo del coeficiente de competencia para Especialista en (EFQM) (1):

$$K_{ick} = 6$$

$$K_a = 0.1$$

$$K_{comp} = \frac{1}{2}(6 + 0.1)$$

$$K_{Comp.} = \mathbf{3.005}$$

Cálculo del coeficiente de competencia para el Especialista en (EFQM) (2):

$$K_{ick} = 6$$

$$K_a = 0.09$$

$$K_{Comp.} = \frac{1}{2}(6 + 0.09)$$

$$K_{Comp.} = \mathbf{3.045}$$

Cálculo del coeficiente de competencia para el Especialista (EFQM) (3):

$$K_{ick} = 6$$

$$K_a = 0.08$$

$$K_{comp} = \frac{1}{2}(6 + 0.08)$$

$$K_{comp} = \mathbf{3.04}$$

Cálculo del coeficiente de competencia para el Especialista en Medioambiente:

$$K_{ick} = 4$$

$$K_a = 0.08$$

$$K_{comp} = \frac{1}{2}(4 + 0.08)$$

$$K_{comp} = \mathbf{2.040}$$

Anexo 3.2: Votación de los expertos para la obtención de los datos a utilizar en la secuenciación de los problemas.

Ud. ha sido escogido como experto para esta investigación y se le pide que vote de acuerdo a la importancia que Ud. le confiere a estos problemas, en una escala de 0 a 2 donde el 2 es el más importante y el 0 es el menos importante, teniendo en cuenta los criterios expuestos.

Problemas	Criterios		
	Mayor precisión en los resultados.	Reconocimiento para el laboratorio.	Credibilidad para el cliente.
Falta definir una política interna para el proceso de laboratorio			
El manual de calidad están definidas las funciones y responsabilidades de la dirección técnica y del responsable de la calidad, falta incluir la responsabilidad para el cumplimiento de la NC-ISO/IEC 17025:2006 (DG P 03 Control de acciones correctivas y preventivas. Productos no conformes).			
El laboratorio tiene procedimientos para la compra (CO P 02 Compra de servicios), la recepción (CO I 01 Recepción en almacén.), falta el almacenamiento de los reactivos e insumos que el laboratorio necesita para los ensayos y las calibraciones.			
Falta establecer un registro de quejas.			
Falta establecer las medidas que establece la norma para			

conservar los datos electrónicos en el apartado 8 del (SL I 04 Medición de muestras en el equipo fluorescente XRF y en el de difracción XRD).			
Falta la estimación de la incertidumbre.			
Falta establecer registro de cada componente del equipamiento y su software que sean importantes para los ensayos o calibraciones.			
Faltan los procedimientos para la manipulación segura, la transportación, el almacenamiento el uso y el mantenimiento planificado de los equipos de medición para asegurar el funcionamiento correcto y para prevenir la contaminación o deterioro.			
Todos los equipos que se encuentran bajo el control del laboratorio cuentan con un plan de calibración, pero no se ha tenido en cuenta etiquetarlos.			
Falta incluir las salvas de las calibraciones del equipo de Rayos X en los procedimientos de calibración y verificar en los demás procedimientos.			
Falta incluir la selección, utilización, calibración, verificación y control en la instrucción (SL I 19 Manipulación y Almacenamiento de Patrones y Materiales Referencia).			

Anexo 3.3: Matrices de alternativas contra criterios.

Falta definir una política interna para el proceso de laboratorio

El manual de calidad están definidas las funciones y responsabilidades de la dirección técnica y del responsable de la calidad, falta incluir la

[illegible]

11/11/2016

[illegible][illegible]

Mayor precisión en los resultados.



Compare the relative importance with respect to: Goal: Orden de los Problemas.



Reconocimiento para el laboratorio.

	Mayor prec	Reconocim	Credibilida
Mayor precisión en los resultados.		6,0	4,0
Reconocimiento para el laboratorio.			2,0
Credibilidad para el cliente.	Incon: 0,01		

Anexo 3.4: Orden de los problemas de acuerdo a cada uno de los criterios.

Orden de los problemas de acuerdo al criterio de mayor precisión en los resultados.



Orden de los problemas de acuerdo al criterio de reconocimiento para el laboratorio.



Orden de los problemas de acuerdo al criterio de mayor credibilidad para el cliente.

Synthesis with respect to: Credibilidad para el cliente.

(Goal: Orden de los Probl > Credibilidad para el clie)

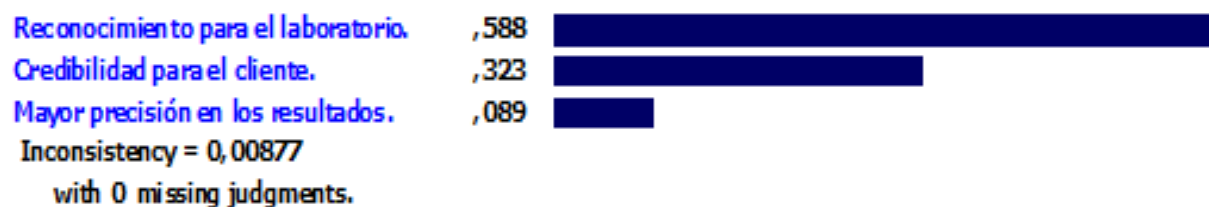
Overall inconsistency = ,06



Prioridad de los criterios.

Priorities with respect to:

Goal: Orden de los problemas.



Anexo 3.5: Muestras de Análisis Químico obtenidas según las instrucciones de los autores Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar en su libro “Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma” (2007).(Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2007).

Analistas	Parte	Ensayo 1	Medida 1	Ensayo 2	Medida 2	Ensayo 3	Medida 3
Erislandy	1	1	13,62	2	13,58	3	13,61
Erislandy	2	1	13,53	2	13,56	3	13,57
Erislandy	3	1	13,08	2	13,04	3	13,02
Erislandy	4	1	12,98	2	13,02	3	12,83
Erislandy	5	1	13,2	2	13,11	3	13,01
Erislandy	6	1	13,07	2	13,09	3	12,98
Erislandy	7	1	13,34	2	13,29	3	13,34
Erislandy	8	1	13,71	2	13,67	3	13,6
Erislandy	9	1	13,01	2	13	3	12,91
Erislandy	10	1	13,46	2	13,41	3	13,36
Elías	1	1	13,62	2	13,5	3	13,48
Elías	2	1	13,5	2	13,51	3	13,47
Elías	3	1	13,06	2	12,89	3	12,92
Elías	4	1	12,96	2	12,99	3	13,01
Elías	5	1	13,17	2	13,17	3	13,17
Elías	6	1	12,97	2	13,04	3	12,95
Elías	7	1	13,24	2	13,21	3	13,12
Elías	8	1	13,65	2	13,62	3	13,55
Elías	9	1	13,05	2	12,97	3	13,02
Elías	10	1	13,42	2	13,37	3	13,42
Arelis	1	1	13,62	2	13,54	3	13,46
Arelis	2	1	13,51	2	13,54	3	13,52
Arelis	3	1	13,07	2	12,97	3	12,97
Arelis	4	1	12,97	2	13,01	3	12,92
Arelis	5	1	13,19	2	13,14	3	13,09
Arelis	6	1	13,02	2	13,07	3	12,97
Arelis	7	1	13,29	2	13,25	3	13,23
Arelis	8	1	13,68	2	13,65	3	13,58
Arelis	9	1	13,03	2	12,99	3	12,97
Arelis	10	1	13,44	2	13,39	3	13,39

Muestras de Blaine obtenidas según las instrucciones de los autores Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar en su libro “Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma” (2007). (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2007).

Analistas	Parte	Ensayo 1	Medida 1	Ensayo 2	Medida 2	Ensayo 3	Medida 3
Erislandy	1	1	3862	2	3858	3	3861
Erislandy	2	1	3853	2	3856	3	3857
Erislandy	3	1	3808	2	3804	3	3802
Erislandy	4	1	3798	2	3802	3	3783
Erislandy	5	1	3820	2	3811	3	3801
Erislandy	6	1	3807	2	3809	3	3798
Erislandy	7	1	3834	2	3829	3	3834
Erislandy	8	1	3871	2	3867	3	3860
Erislandy	9	1	3801	2	3800	3	3791
Erislandy	10	1	3846	2	3841	3	3836
Elías	1	1	3862	2	3850	3	3848
Elías	2	1	3850	2	3851	3	3847
Elías	3	1	3806	2	3789	3	3792
Elías	4	1	3796	2	3799	3	3801
Elías	5	1	3817	2	3817	3	3817
Elías	6	1	3797	2	3804	3	3795
Elías	7	1	3824	2	3821	3	3812
Elías	8	1	3865	2	3862	3	3855
Elías	9	1	3805	2	3797	3	3802
Elías	10	1	3842	2	3837	3	3842
Arelis	1	1	3864	2	3856	3	3857
Arelis	2	1	3854	2	3858	3	3854
Arelis	3	1	3809	2	3799	3	3799
Arelis	4	1	3799	2	3803	3	3794
Arelis	5	1	3821	2	3816	3	3811
Arelis	6	1	3804	2	3809	3	3800
Arelis	7	1	3831	2	3827	3	3825
Arelis	8	1	3870	2	3867	3	3860
Arelis	9	1	3805	2	3801	3	3799
Arelis	10	1	3846	2	3841	3	3841

Anexo 3.6: Tablas de salida del software Statgraphics.

Tablas y gráficos restantes del análisis químico.

Intervalos de confianza del 95,0%. Fuente: Software Statgraphics.

	<i>Inferior</i>	<i>6,0</i>	<i>Superior</i>
	<i>Límite</i>	<i>Desv. Estd.</i>	<i>Límite</i>
Repetitibilidad	0,233171	0,274736	0,334474
Reproducibilidad	0,0913918	0,195152	1,22562
Interacción	0,0483994	0,0681828	0,103885
R & R	0,29712	0,343822	1,30351
partes	0,915618	1,56705	3,01488

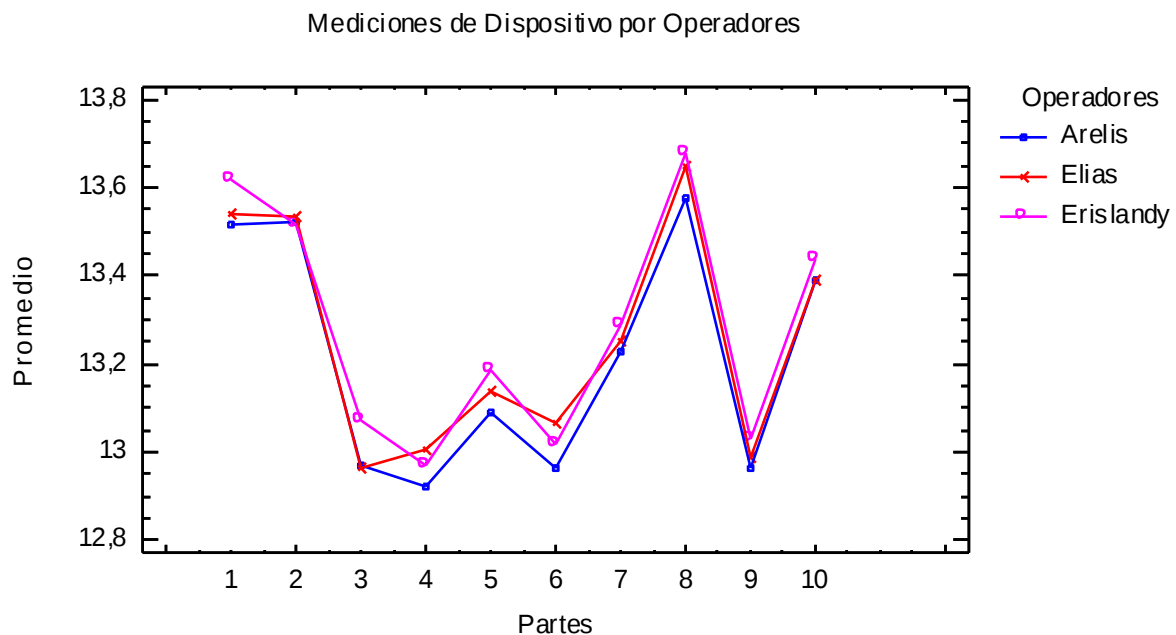
Esta tabla muestra intervalos iguales a 6,0 veces las desviaciones estándar debidas a la Repetibilidad, Reproducibilidad, R&R combinadas, y variabilidad entre partes. Puede esperarse que estos intervalos contengan el 99,73% por ciento de los errores atribuidos a cada fuente. Por ejemplo, podría esperarse que las mediciones se desviaran del valor verdadero en un $\pm 0,171911$ debido a la R&R combinada, un intervalo de ancho 0,343822 unidades. Como los estimados de la variabilidad están sujetos a los errores de muestreo, los intervalos de confianza muestran que tan precisos son estos estimados.

Tabla ANOVA. Fuente: Software Statgraphics.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Operadores	0,0684422	2	0,0342211	13,78	0,0002
Partes	5,54754	9	0,616394	248,14	0,0000
Operadores*Partes	0,0447133	18	0,00248407	1,18	0,3023
Residual	0,1258	60	0,00209667		
Total	5,7865	89			

La tabla de ANOVA divide la variabilidad total de Medidas en varias partes. La primera parte representa las diferencias entre operadores. La segunda parte representa las diferencias entre partes. La tercera parte representa la interacción entre operadores y

partes. Dado que el valor-P en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no hay interacción estadísticamente significativa entre operadores y partes al nivel de confianza del 95,0%. La última parte representa el error residual, el cual corresponde a la Repetibilidad.



En la estimación de la Repetibilidad y Reproducibilidad, el primer paso es calcular estadísticas para cada combinación del operador y partes:

$\bar{x}_{ij}$ = Promedio de las mediciones hechas por un operador i sobre una parte j

R_{ij} = Rango de las mediciones hechas por un operador i sobre una parte j

$\bar{x}_i$ = Promedio de las mediciones hechas por un operador i

El *Gráfico de Operador x Partes* presenta los $\bar{x}_{ij}$, promedio del operador por partes:

Este gráfico es útil para mostrar cualquier diferencia consistente entre los operadores.

Por ejemplo se puede decir que el operador Arelis es consistente igual o por debajo e los demás operadores.

Tablas y gráficos restantes del Blaine.

Intervalos de confianza del 95,0%. Fuente: Software Statgraphics.

	<i>Inferior</i>	<i>6,0</i>	<i>Superior</i>
	<i>Límite</i>	<i>Desv. Estd.</i>	<i>Límite</i>
Repetitibilidad	23,8788	28,1354	34,253
Reproducibilidad	8,69015	18,5564	116,54
Interacción	4,0359	5,68559	8,66269
R & R	29,9279	34,1799	124,76
partes	92,1264	157,671	303,347

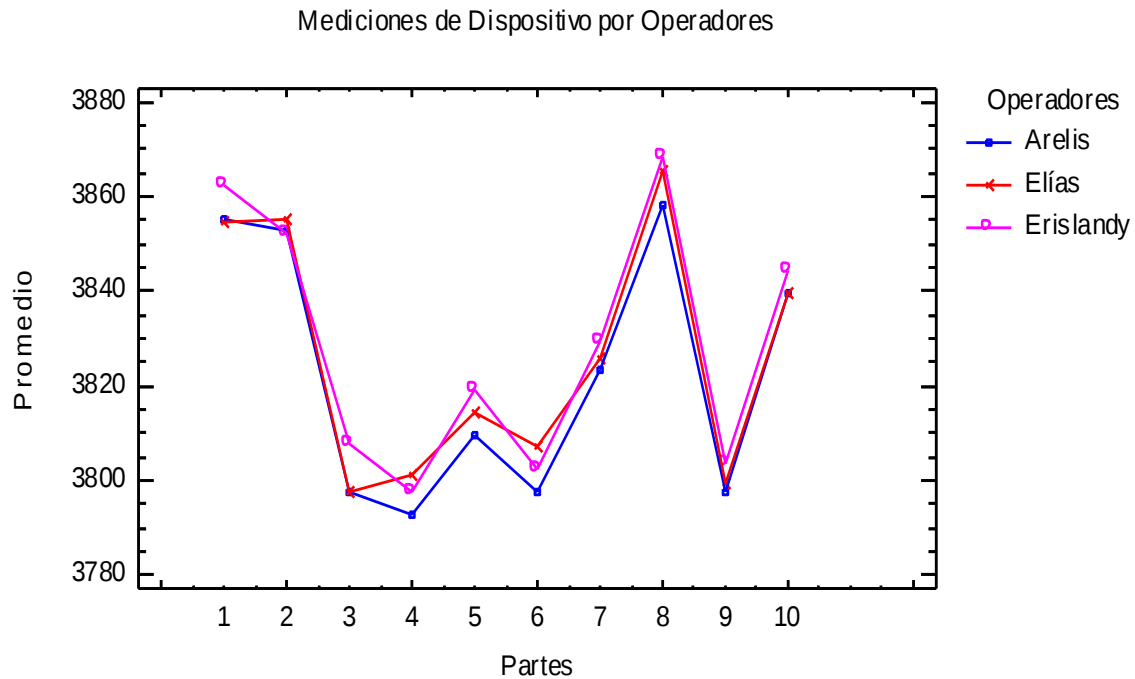
Esta tabla muestra intervalos iguales a 6,0 veces las desviaciones estándar debidas a la Repetibilidad, Reproducibilidad, R&R combinadas, y variabilidad entre partes. Puede esperarse que estos intervalos contengan el 99,73% de los errores atribuidos a cada fuente. Por ejemplo, podría esperarse que las mediciones se desviaran del valor verdadero en un $\pm 17,09$ debido a la R&R combinada, un intervalo de ancho 34,1799 unidades. Como los estimados de la variabilidad están sujetos a los errores de muestreo, los intervalos de confianza muestran qué tan precisos son estos estimados.

Tabla ANOVA. Fuente: Software Statgraphics.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Operadores	623,267	2	311,633	12,63	0,0004
Partes	56157,5	9	6239,72	252,80	0,0000
Operadores*Partes	444,289	18	24,6827	1,12	0,3544
Residual	1319,33	60	21,9889		
Total	58544,4	89			

La tabla de ANOVA divide la variabilidad total de Medidas en varias partes. La primera parte representa las diferencias entre operadores. La segunda parte representa las diferencias entre partes. La tercera parte representa la interacción entre operadores y partes. Dado que el valor-P en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no hay

interacción estadísticamente significativa entre operadores y partes al nivel de confianza del 95,0%. La última parte representa el error residual, el cual corresponde a la Repetibilidad.



En la estimación de la Repetibilidad y Reproducibilidad, el primer paso es calcular estadísticas para cada combinación del operador y partes:

$\bar{x}_{ij}$ = Promedio de las mediciones hechas por un operador i sobre una parte j

R_{ij} = Rango de las mediciones hechas por un operador i sobre una parte j

$\bar{x}_i$ = Promedio de las mediciones hechas por un operador i

El *Gráfico de Operador x Partes* presenta los $\bar{x}_{ij}$, promedio del operador por partes:

Este gráfico es útil para mostrar cualquier diferencia consistente entre los operadores.

Por ejemplo, se puede observar cómo existe variabilidad entre los operadores Elías y Erislandy dado que el promedio de sus mediciones se entre cruza en varios casos.