

Evaluación de los costos de la calidad y la no calidad en la Gestión Metrológica de un laboratorio de Metrología.

MARÍA ALEJANDRA GONZÁLEZ JIMÉNEZ

Informe final – Practica empresarial

Asesor:
Msc. Luis Carlos Álvarez Vélez
Ingeniero electrónico

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA BIOINGENIERÍA
MEDELLÍN, ANTIOQUIA
2019

Contenido

1	Resumen	3
2	Introducción	4
3	Objetivos	5
	3.1 Objetivo general	5
	3.2 Objetivos específicos	5
4	Marco Teórico	6
	Planeación estratégica	6
	Plan de aseguramiento metrológico (PAME)	7
	Administración de la metrología	7
	Costos de adquisición	9
	Costos de entrenamiento	9
	Costos de operación	10
	Costos de calibración	10
	Costos de mantenimiento	11
5	Metodología	11
	A1. Recolección de información de costos y búsqueda bibliográfica ..	12
	A2. Diseño de un modelo de costos aplicable al PAME de la FLA	12
	A3. Prueba del modelo aplicable	13
	A4. Reconocimiento de la totalidad de los costos invertidos en la gestión metrológica	13
	A5. Elaboración del informe final	14
	A6. Presentación pública	14
6	Cronograma de actividades	14
7	Presupuesto	15
8	Resultados y análisis	16
	Diseño y prueba de un modelo de costos aplicable al PAME de la FLA ..	16
	Reconocimiento de los costos invertidos en la gestión metrológica	22
9	Conclusiones	24
10	Referencias Bibliográficas	25
11	Anexos	26

1 Resumen

La Fábrica de Licores y Alcoholes de Antioquia tiene por objeto satisfacer las necesidades de venta mediante la producción de licores con altos estándares de calidad; esta empresa está presente en 23 departamentos del país donde obtiene el 85% del mercado. Para garantizar la calidad en sus productos la FLA obtuvo la certificación en la norma técnica colombiana NTC ISO 9001: Sistema de Gestión de Calidad [1], además, su laboratorio está acreditado en la norma NTC ISO/IEC 17025: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración [2]. Por lo anterior, se vió en la necesidad de implementar un Plan de Aseguramiento Metrológico, para así llevar a cabo la gestión metrológica como se sugiere en dichas normas; por medio de este se busca tener control de los equipos que puedan afectar la conformidad del producto a través de calibraciones, verificaciones intermedias y mantenimientos de los mismos, todo esto se debe realizar en intervalos de tiempo específicos para tener control del funcionamiento y de las mediciones de dichos equipos. Desarrollar estas actividades implica disponibilidad de recursos económicos, los cuales se evaluaron en este proyecto con el fin de conocer los costos que conlleva realizar la gestión metrológica en la FLA, la importancia de los mismos y las consecuencias que traería para la empresa no invertir en este proceso; adicionalmente, con el modelo planteado se puede conocer el precio aproximado de la gestión metrológica en años futuros.

2 Introducción

En un entorno globalizado y competitivo como el actual, las empresas requieren mejorar constantemente sus procesos productivos, razón por la cual ha surgido la necesidad de implementar programas de mejora continua de tal manera que se asegure la calidad en los productos o servicios que serán brindados a sus clientes, con el fin de satisfacer los requerimientos de estos y ser competitivos en el mercado.

Llevar a cabo actividades que aseguren la calidad dentro de las empresas ha traído como consecuencia la concepción de un modelo de costos donde se relaciona el resultado final con la calidad; sin embargo, toda actividad empresarial se relaciona con los procesos y, por tanto, este debe reflejar los costos totales de cada uno de estos y no un costo de la calidad definido en forma arbitraria, puesto que en cualquier caso, este utiliza materiales y recursos; y el propietario del proceso necesita los medios para controlar los costos del mismo y debe actuar para garantizar que estos sean mínimos **[3]**.

Por lo anterior, en la Fábrica de Licores y Alcoholes de Antioquia (FLA), la cual se destaca en la industria licorera colombiana gracias a la calidad en sus productos, sus procesos certificados y los sellos de calidad de producto **[4]**, se desarrolló una herramienta aplicativa que permitió realizar una evaluación de la gestión metrológica en relación al análisis de costos de calidad y no calidad que se derivan de la implementación y mantenimiento de su sistema de gestión metrológico, por medio de esta se logró estimar los costos ocultos que conlleva gestionar el Plan de Aseguramiento Metrológico (PAME) ya definido en esta empresa y los precios futuros de la realización del control metrológico de sus equipos.

A lo largo del presente informe se expondrá de manera detallada los aspectos teóricos y prácticos que se llevaron a cabo durante el desarrollo e implementación de esta herramienta que permite realizar una evaluación de la gestión metrológica con relación al análisis de costos, así como las respectivas investigaciones, la problemática planteada y la importancia de la ejecución. Se precisan los objetivos tanto generales como específicos que se abordaron durante la ejecución de este, los recursos que fueron necesarios para la ejecución del proyecto, el cronograma de trabajo y los resultados obtenidos de este estudio.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo aplicable, que permita cuantificar los costos de la implementación del Plan de Aseguramiento Metrológico, con relación a los costos totales de la calidad y su impacto en la actividad metrológica desarrollada al interior de la Fábrica de Licores de Antioquia.

3.2 Objetivos específicos

- Reconocer cuáles son los costos de calidad y no calidad que se derivan de los procesos establecidos a los equipos incluidos en el PAME y a partir de estos plantear y desarrollar un modelo aplicable al PAME de la FLA.
- Determinar los costos de la ejecución del PAME con respecto a las verificaciones intermedias realizadas en la FLA y los mantenimientos y calibraciones externas realizadas por fuera de la misma.
- Identificar los costos invertidos en la gestión metrológica, incluyendo aquellos que no están descritos en el PAME.
- Evaluar el impacto del modelo desarrollado para justificar la actividad desarrollada en el área de metrología.

4 Marco Teórico

El desarrollo industrial, económico y social de un país depende, fundamentalmente de sus niveles de calidad y productividad, por lo cual se ha vuelto de suma importancia encontrar una estrategia adecuada para mantener un crecimiento constante en estos aspectos, por esta razón se vio la necesidad de desarrollar planes que aseguren la calidad, teniendo en cuenta los costos que esto pueda acarrear [5].

Con el fin de describir con mayor profundidad los diferentes conceptos y herramientas utilizadas en el proyecto, a continuación, se presenta la fundamentación teórica del mismo.

Los costos de calidad son aquellos incurridos en el diseño y operación de los sistemas de calidad de una organización, los cuales se relacionan con el mejoramiento continuo de la calidad. Por medio de estos se busca medir y controlar aquellos costos que se vinculan con la prevención, identificación y reparación de fallas o defectos que podrían producirse o ya se han producido [5].

Costos de prevención: Costos que se incurren por la planeación, documentación, implementación y mantenimiento del sistema de gestión de calidad, estos incluyen controles para reducción de fallas y asegurar la calidad de los bienes o servicios ofrecidos [6].

Costos de conformidad: Son los costos intrínsecos de suministrar productos o servicios según normas estipuladas, mediante un proceso particular especificado, y de una forma plenamente eficaz [7].

Costos de no conformidad: Son los costos correspondientes a un proceso en la recepción de materiales, producción, despacho y corrección de bienes y servicios no satisfactorios [7].

Costos del proceso: Son los costos totales de conformidad y de no conformidad para un determinado proceso [7].

Entradas: Son los materiales y/o datos que son transformados mediante el proceso para crear salidas [7].

Salidas: Son el resultado de la transformación de las entradas [7].

Controles: Son entradas que definen, regulan o influyen en el proceso [7].

Planeación estratégica: Por medio de este proceso se declara la visión y la misión de la empresa, se establecen los objetivos generales y se formulan estrategias necesarias para alcanzar dichos objetivos. Sobre esta se elaboran los demás planes de la

empresa, los cuales se deben analizar cada cierto tiempo y hacer los cambios que sean necesarios; asimismo es un proceso interactivo que involucra a todos los miembros de la empresa [8]. En pro del cumplimiento del plan estratégico en la Fábrica de Licores y Alcoholes de Antioquia se diseñó un Plan de Aseguramiento Metrológico el cual hace parte de la dirección de aseguramiento de la calidad.

Plan de aseguramiento metrológico (PAME): La función de este es asegurar física y documentalmente que los resultados de cada una de las mediciones tengan la fiabilidad, representatividad, utilidad y exactitud suficiente para su uso y para la toma de decisiones que haya lugar [9]. Los objetivos de este son:

- ✓ Asegurar la transferencia y el mantenimiento de la exactitud de las mediciones por medio de la trazabilidad correspondiente a nivel nacional e internacional [9].
- ✓ Estructurar el sistema de laboratorio de metrología según las necesidades del área [9].
- ✓ Normalizar los sistemas de gestión metrológica [9].
- ✓ Fomentar, promover y desarrollar la cultura metrológica en la organización [9].

Administración de la metrología: La administración del PAME involucra una serie de actividades que permiten que este se desarrolle adecuadamente, según las especificaciones establecidas para ello. La administración involucra actividades tales como [10]:

- **Adquisición de recursos y presupuesto:** Esta actividad está relacionada con la obtención de recursos para establecer el plan de aseguramiento metrológico; dichos recursos podrán ser utilizados en adecuación de la infraestructura, para la compra de instrumento, para capacitación vinculación de personal, contratación de servicios, entre otros. Cabe aclarar que estas actividades se deben realizar con conocimiento suficiente en metrología, de manera que sean invertidos de forma adecuada y suficiente [10].
- **Compra de instrumentos de medición:** La compra de estos debe ser realizada con el apoyo del personal que utilizará el equipo, al igual con el apoyo del personal de metrología, quienes conjuntamente determinan si este es adecuado para las necesidades que se tienen [10].
- **Contratación de servicios metrológicos:** Para la contratación de servicios metrológicos se debe identificar claramente la necesidad de servicios metrológicos que se tiene, para ser transmitida a los posibles oferentes, se debe evaluar que los proveedores de servicios metrológicos estén acreditados o cumplan con los requisitos de la norma ISO/IEC 17025 [10].

Al PAME implementado en la FLA se le pretende realizar un análisis de costos, por medio del cual se pueda predecir el precio de la gestión metrológica en los próximos años, teniendo en cuenta los costos ocultos que la gestión metrológica acarrea, en la Figura 1 se muestra el modelo de proceso básico.

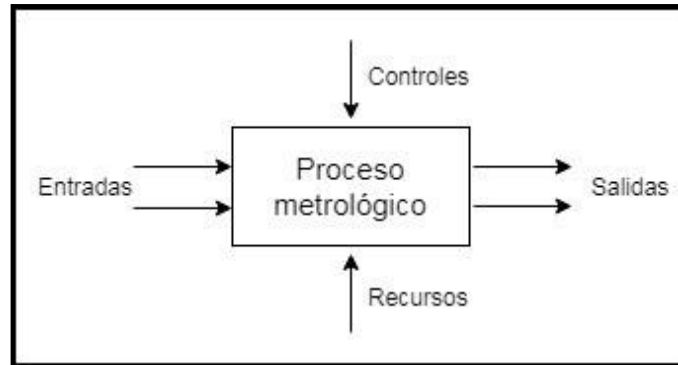


Figura 1. Modelo de proceso básico metrológico.

Lo anterior se sustenta en que la información sobre el costo de los productos o servicios resulta ser un aspecto fundamental para la gestión y toma de decisiones que subyacen a cualquier actividad productiva de una empresa o entidad. En esta vía, los costos facilitarán las funciones de administración y permitirán la consecución de metas relacionadas con posicionamiento en el mercado y crecimiento sostenido de las utilidades en el tiempo. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que la planeación y el control de los costes están por lo general vinculados con la planeación de los ingresos y utilidades; de igual manera la administración de costes no se realiza de forma aislada, sino que constituye una parte integral de las estrategias de administración generales y de su puesta en práctica [11].

Desde los preceptos de la teoría económica, el conocimiento de los costos es primordial para la maximización de los beneficios económicos del productor; estos son erogaciones implicadas en la producción de un producto o generación de un servicio. El cálculo de los costos permite evaluar, controlar y planear el uso eficiente del recurso humano, la capacidad instalada y los materiales; en consecuencia la administración y el uso adecuado y efectivo de los recursos conlleva inequívocamente al logro de una mayor competitividad y mejora de los indicadores de rendimiento [12].

Las empresas que se dedican ya sea a la prestación de servicios o a la generación de productos requieren la implementación de un sistema de costos que evidencie las actividades principales. En este tipo de empresas es necesario cuantificar correctamente la tarifa de la mano de obra directamente implicada y los costos indirectos correspondientes. Lo anterior debido al valor agregado que imprime el recurso humano en la ejecución del bien que deberá entregarse al consumidor final.

Las organizaciones actuales requieren de sistemas de información que satisfagan las demandas de información de clientes externos e internos. Consecuentemente, la

contabilidad de costos se convierte, de la mano con la contabilidad administrativa, en una herramienta que brinda insumos y apoyo en la toma de decisiones y consolidación de información.

La metrología como ciencia de la medición trae consigo consideraciones externas a la medición que afectarán la misma, es el caso de la selección del equipo de medición y la implicación que tienen sus costos asociados a todo lo que conlleva la gestión metrológica en la organización y que se determinan desde la selección de un equipo de medición hasta la puesta en servicio, su mantenimiento y calibración durante su vida útil [13]. Por lo anterior, es fundamental determinar los costos de los equipos durante su vida útil, estos se puede dividir en cinco (5) grupos de costos mostrados en la Figura 2.



Figura 2. Estructura de costos del sistema de aseguramiento metrológico.

A continuación, se describen los costos del aseguramiento metrológico y los factores que influyen en este.

Costos de adquisición: Se definen los costos iniciales de despacho de los equipos y sus costos asociados como la sumatoria de los ítems presentados en la Ecuación 1 [9].

$$C_{ad} = C_{eval} + C_{p} + C_{arr} + C_{f} + C_{m}$$

Ecuación 1

- Evaluación: Costos de análisis de los equipos de medición representados en tiempos de viajes, visitas a los fabricantes, demostraciones, etcétera [9].
- Precio: El valor real del equipo de medición a comprar [9].
- Arranque: Costos de ubicar el equipo de medición en el laboratorio (lugar especial, tomas especiales, instalaciones eléctricas nuevas, entre otros) [9].
- Fletes: Costos de envío del equipo de medición [9].

Costos de entrenamiento: El entrenamiento es necesario y fundamental en la instrumentación principalmente cuando se trata de personal nuevo. Esto no lo asume

el fabricante y puede tener alta incidencia en el costo final, los costos que se tienen en cuenta se muestran en la Ecuación 2 [9].

$$C_{\text{operación}} = C_{\text{entrenamiento de operación}} + C_{\text{entrenamiento de calibración}} + C_{\text{entrenamiento de mantenimiento}}$$

Ecuación 2

- Entrenamiento de operación: Comprende todo lo concerniente a operación de las funciones del equipo de medición, programas, generación de procedimientos, documentación de resultados y reportes [9].
- Entrenamiento de calibración: Es necesario si se utiliza un instrumento como patrón, la calibración de este y los requerimientos especiales para lograrlo son de suma importancia [9].
- Entrenamiento de mantenimiento: múltiples equipos requieren mantenimiento periódico y es considerado en este caso si se realiza internamente [9].

Costos de operación: Se consideran como los más complejos de evaluar, ya que cada tipo de instrumento tiene diferentes grupos de elementos que comprometen la operación [9].

$$C_{\text{operación}} = C_{\text{entrenamiento de operación}} + C_{\text{entrenamiento de calibración}} + C_{\text{entrenamiento de mantenimiento}} + C_{\text{costos de operación}}$$

Ecuación 3

- Costos perdonables: Estos son atribuidos a la sensibilidad de un equipo de medición a los errores del operador [9].
- Costos de documentación: Desarrollar guías de calibración, de verificación y de seguimiento representa un costo en la gestión metrológica [9].
- Costos de especificaciones: Depende de que tan bien está realizando un equipo su respectiva medición, los costos de falta de confianza en las mediciones pueden introducir un riesgo y costos de trabajo adicionales [9].
- Costos de expansibilidad: Si el equipo permite una expansión de sus capacidades se debe prever necesidades futuras y la posibilidad de obtenerlas [9].

Costos de calibración: Estos son significativos y varían según el plan establecido por la organización, los factores que afectan son expuestos en la Ecuación 4 [9].

$$C_{\text{calibración}} = C_{\text{calibración}} * (C_{\text{frecuencia de calibración}} + C_{\text{costo de transporte}} + C_{\text{costos por requerimientos de patrones calibración}})$$

Ecuación 4

- Frecuencia de calibración: Número de veces que un equipo debe ser calibrado al año [9].
- Costo de transporte: Estos deben ser incluidos si el laboratorio de calibración no es local, puede variar según la facilidad de envío del equipo [9].
- Costos por requerimientos de patrones calibración: Evaluar si están los patrones

requieren calibración y si se requiere de un patrón específico **[9]**.

Costos de mantenimiento: La mayoría de instrumentos tienen costos asociados con la reparación y mantenimiento preventivo tal como se muestra en la ecuación 5 [9].

$$C_{\text{mantenimiento}} = C_{\text{fallas}} + C_{\text{garantía}}$$

Ecuación 5

- Costos por fallas: Estos se ven afectados por el número de veces que falla un equipo, que tan fácil y costoso es repararlo [9].
- Periodos de garantía: Las fallas pueden ocurrir durante el periodo de garantía y los costos pueden ser asumidos por el fabricante [9].



En la Figura 3 se muestra el esquema de trabajo que se llevó a cabo en la práctica empresarial para el proyecto presentado.

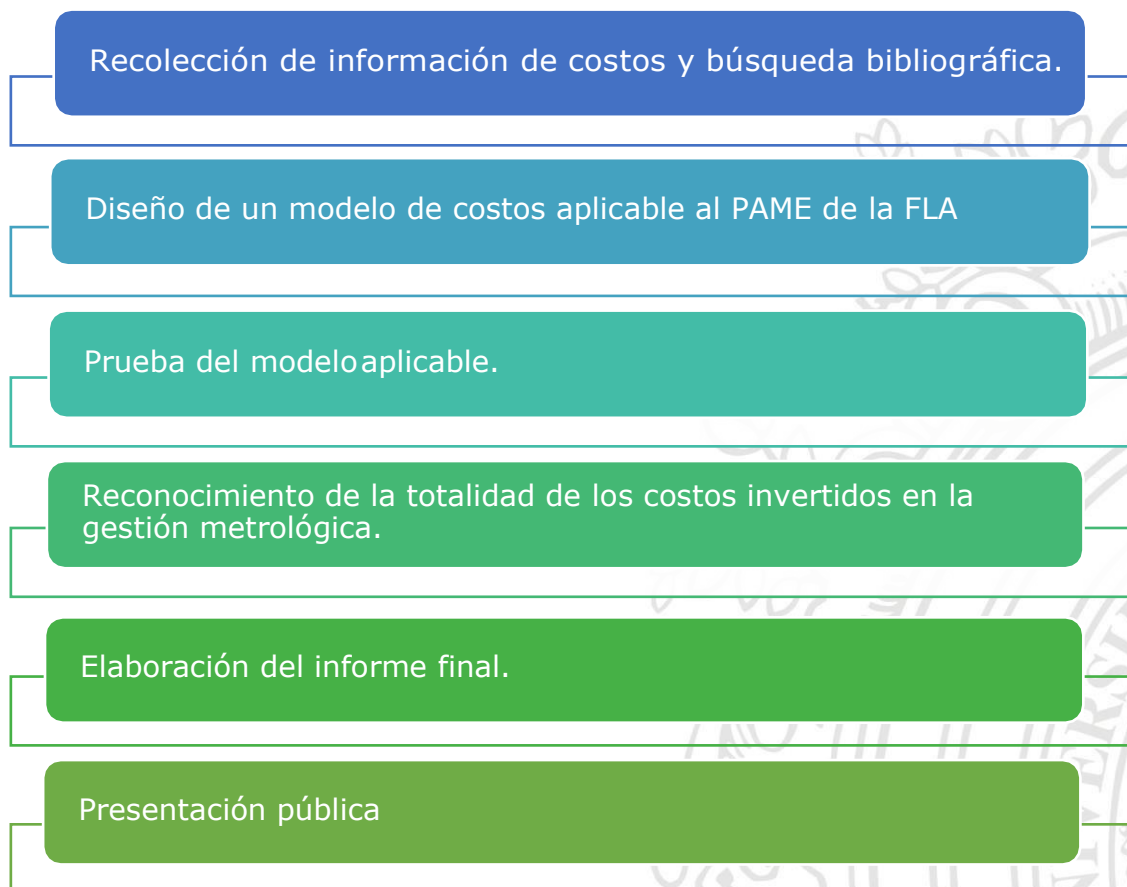


Figura 3. Esquema de trabajo.

La ejecución del proyecto se llevó a cabo en 6 etapas detalladas a continuación.

A1.Recolección de información de costos y búsqueda bibliográfica.

En la primera etapa del proyecto se realizó la recolección de la siguiente información para el desarrollo de un modelo de costos para la gestión metrológica: costos asociados a servicios externos -como las calibraciones-, a los materiales de referencia utilizados en metrología, demás materiales utilizados en metrología -como la papelería-, al personal encargado y demás costos indirectos que pueda acarrear la implementación del PAME como el impuesto predial por el área que se dispone en la empresa para la realización de las actividades de metrología y los servicios públicos como agua y luz que se consumen en las actividades que conciernen la aplicación del Plan de Aseguramiento Metrológico. Adicionalmente, se hizo la búsqueda de información respectiva para así cimentar las bases teóricas en el tema del proyecto.

A2.Diseño de un modelo de costos aplicable al PAME de la FLA.

A partir de la información de costos implicados en el desarrollo de las actividades de metrología, la cual fue recolectada en A1, se procedió a diseñar el modelo de

costos adecuado para el sistema de gestión metrológico de la FLA, el cual se muestra en la Ecuación 6.

$$\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square = \square + \square + \square + \square + \square$$

Ecuación 6

Donde:

- ✓ α : Es el costo asociado a la sumatoria de los servicios externos.
- ✓ β : Es el costo asociado a los materiales de referencia utilizados en metrología.
- ✓ δ : Es el costo asociado a los materiales directos utilizados en metrología.
- ✓ ε : Es el costo asociado al personal encargado.
- ✓ τ : Costos indirectos asociados metrología.

Este brinda la información anual de los costos involucrados en el área de metrología, con el fin de conocer el comportamiento histórico de los costos del PAME se aplicó dicho modelo en 5 años previos y en el año en curso; con esta información se buscó adquirir la capacidad de predecir el precio que podría tener la ejecución de las actividades programadas por el área de metrología en años próximos.

A3.Prueba del modeloaplicable.

El modelo diseñado en A2 fue aplicado desde el año 2013, ya que a partir de esta fecha se inició la ejecución de la gestión metrológica en la Fábrica de Licores de Antioquia; los valores obtenidos fueron confrontados según lo presupuestado para servicios externos en dichos años con el propósito de comprobar la funcionalidad del mismo, de esta manera se garantizó que los resultados entregados son verídicos; con el fin de estimar los costos futuros que acarreará implementar el PAME en la FLA se plantearon modelos de ecuaciones lineales y polinómicas según fuera el caso, con el fin de obtener por medio de estas un modelo predictivo, el cual permita conocer en cualquier año el presupuesto que se requiere para el correcto funcionamiento de las labores de metrología, estos valores arrojados fueron evaluados con el fin de comprobar que el modelo planteado sea viable según el comportamiento histórico de los costos del PAME.

A4.Reconocimiento de la totalidad de los costos invertidos en la gestión metrológica.

En esta etapa se realizó el reconocimiento de los costos invertidos en la gestión metrológica por medio del modelo de aplicable desarrollado en A2 y validado en A3, para esto se tuvieron en cuenta todos los costos que requiere la aplicación del sistema de gestión metrológico, realizando la diferenciación entre los costos del PAME con respecto a las verificaciones intermedias realizadas en la FLA y los mantenimientos y calibraciones realizadas por empresas externas a la Fábrica de Licores y Alcoholes de Antioquia. Esto se realizó con el fin de justificar ante la empresa la actividad interna desarrollada en el área de metrología, además por medio de esto se determinaron los costos de calidad y así tener la capacidad de evaluar el impacto que podría tener en la FLA la no calidad.

A5.Elaboración del informe final.

Una vez desarrollado e implementado el proyecto se obtuvo información suficiente con la cual se procedió a elaborar el informe final.

A6.Presentación pública.

Se realizará la presentación pública del proyecto desarrollado en la fecha que disponga la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia para las jornadas académicas.



6 Cronograma de actividades

La Tabla 1 presenta el cronograma de actividades implementado durante la ejecución de cada uno de los objetivos planteados para llevar a cabo el desarrollo

del proyecto, así mismo se exponen los tiempos de duración y los momentos en los que iniciarán.

Tabla 1. Cronograma para el desarrollo del proyecto.

Actividad	Semanas																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A1	■	■	■	■	■																			
A2				■	■	■	■	■	■	■	■													
A3										■	■	■	■	■										
A4														■	■	■	■	■	■	■	■	■		
A5																						■	■	■
A6																								■

7 Presupuesto

Para la implementación del proyecto se elaboró un presupuesto teniendo en cuenta cada rubro que estuvo involucrado en la ejecución de este, este se presenta de manera detallada en la Tabla 2.

Tabla 2. Presupuesto del proyecto

Rubros	FUENTES DE FINANCIACIÓN				Total
	UdeA		Fábrica de Licores de Antioquia		
	Rec. Fresco	Rec. Especie	Rec. Fresco	Rec. Especie	
Personal	\$ 228.000	\$ 0	\$ 16.312.320	\$ 0	\$ 16.540.320
Equipos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Servicios técnicos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Materiales	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Infraestructura física de la Universidad	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Bases de datos y bibliografía	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Trabajo de campo	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
TOTAL	\$ 228.000	\$ 0	\$ 16.312.320	\$ 1.500.000	\$ 18.040.320

8 Resultados y análisis

Diseño y prueba de un modelo de costos aplicable al PAME de la FLA

Con el modelo que se propone en la *Ecuación 6* se logró conocer el presupuesto anual del plan de aseguramiento metrológico, este se aplicó en los últimos cinco (5) años y en el año en curso con el fin de conocer el comportamiento de estos a través de los años. En la tabla 3 se muestra el aporte de cada uno factores incluidos en el

modelo de costos para el presupuesto y el valor total de este en el periodo de tiempo anteriormente descrito.

Tabla 3. Presupuesto total para el PAME por años en Pesos Colombianos (COP).

	2013	2014	2015	2016		
α	\$ 23.167.945	\$ 23.278.225	\$ 23.670.467	\$ 52.050.789	\$ 25.923.205	\$ 60.637.710
β	\$ 53.244	\$ 194.380	\$ 44.660	\$ 2.315.366	\$ 2.312.167	\$ 2.258.334
δ	\$ 538.728	\$ 554.014	\$ 560.095	\$ 534.248	\$ 531.378	\$ 542.783
ϵ	\$ 14.477.852	\$ 14.948.869	\$ 15.567.010	\$ 16.651.308	\$ 17.661.997	\$ 18.048.910
τ	\$ 57.220	\$ 58.936	\$ 60.976	\$ 69.696	\$ 90.288	\$ 105.696
Total	\$ 38.294.989	\$ 39.034.424	\$ 39.903.208	\$ 71.621.407	\$ 46.519.035	\$ 81.593.432

Adicionalmente, en la Figura 4 se muestra el comportamiento de la información obtenida para el presupuesto total gráficamente.

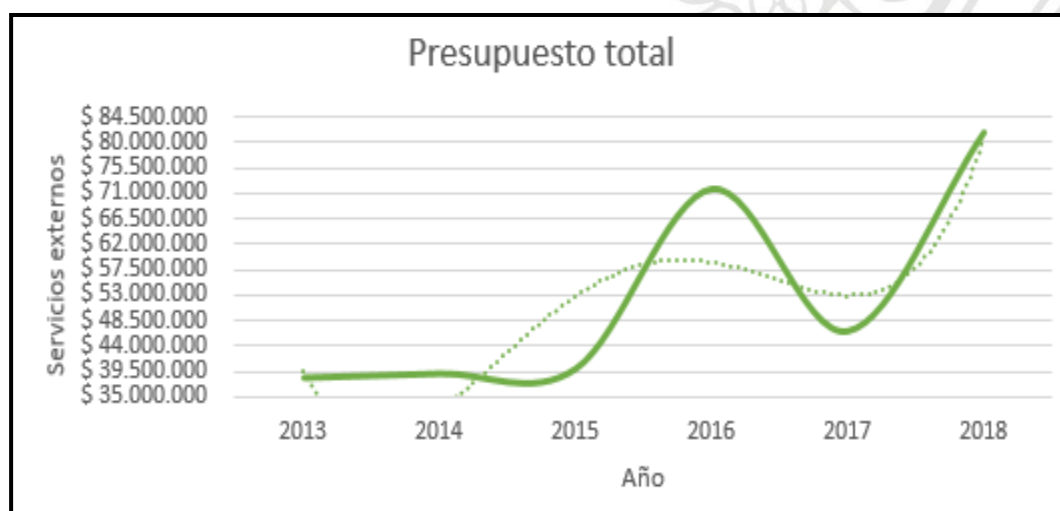


Figura 4. Presupuesto total PAME de la FLA.

En la Figura 4 se evidencia la función que representa el presupuesto a lo largo del tiempo no tiene un comportamiento característico o repetitivo en cierto periodo de tiempo, por lo cual no es factible que sea una herramienta que permita obtener un modelo predictivo. En consecuencia, se analizaron los picos presentados en los años 2016 y 2018, y se obtuvo que esto se produjo a raíz de la calibración de un equipo – banco de temperatura- que tiene un costo bastante elevado, lo cual es considerado un valor anormal para el modelo de costos planteados; por esta razón se plantearon dos modelos para el presupuesto, donde uno de estos no considere este dato anormal y otro donde se tenga en cuenta el valor de la calibración del banco de temperatura todos los años. En la Tabla 4 se presenta la información de todos los costos que se presentan en la ejecución del PAME sin incluir el banco de temperatura y en la Tabla 5 se evidencian de igual manera estos costos, sin embargo, en este caso se incluye el banco de temperatura.

Tabla 4. Presupuesto sin incluir la calibración del banco de temperatura en Pesos Colombianos (COP).

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
α	\$ 23.167.945	\$ 23.278.225	\$ 23.670.467	\$ 24.395.229	\$ 25.923.205	\$ 27.484.310
β	\$ 53.244	\$ 194.380	\$ 44.660	\$ 2.315.366	\$ 2.312.167	\$ 2.258.334
δ	\$ 538.728	\$ 554.014	\$ 560.095	\$ 534.248	\$ 531.378	\$ 542.783
ϵ	\$ 14.477.852	\$ 14.948.869	\$ 15.567.010	\$ 16.651.308	\$ 17.661.997	\$ 18.048.910
τ	\$ 57.220	\$ 58.936	\$ 60.976	\$ 69.696	\$ 90.288	\$ 105.696
Total	\$ 38.294.989	\$ 39.034.424	\$ 39.903.208	\$ 43.965.847	\$ 46.519.035	\$ 48.440.032

Tabla 5. Presupuesto incluyendo el costo de la calibración del banco de temperatura en Pesos Colombianos (COP).

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
α	\$ 46.423.505	\$ 47.733.785	\$ 48.826.027	\$ 52.050.789	\$ 56.327.685	\$ 60.637.710
β	\$ 53.244,00	\$ 194.380	\$ 44.660	\$ 2.315.366	\$ 2.312.167	\$ 2.258.334
δ	\$ 538.728	\$ 554.014	\$ 560.095	\$ 534.248	\$ 531.378	\$ 542.783
ϵ	\$ 14.477.852	\$ 14.948.869	\$ 15.567.010	\$ 16.651.308	\$ 17.661.997	\$ 18.048.910
τ	\$ 57.220	\$ 58.936	\$ 60.976	\$ 69.696	\$ 90.288	\$ 105.696
Total	\$ 61.550.549	\$ 63.489.984	\$ 65.058.768	\$ 71.621.407	\$ 76.923.515	\$ 81.593.432

En las Figuras 5 y 6 se muestra el valor obtenido del presupuesto total sin incluir la calibración del banco de temperatura e incluyéndola respectivamente a través de los años de manera gráfica.

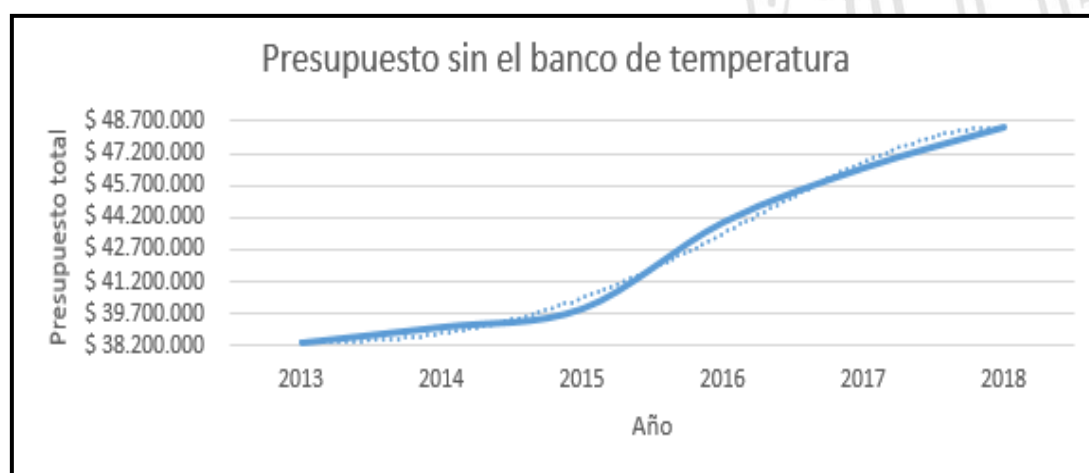


Figura 5. Presupuesto total sin incluir el banco de temperatura.



Figura 6. Presupuesto total incluyendo el banco de temperatura.

Las Ecuaciones 7 y 8 presentan los modelos basados en las gráficas mostradas en las Figuras 5 y 6, los cuales se proponen mediante ajustes polinómicos de grado 4, puesto que estos por medio de las siguientes ecuaciones trazan una recta que cruza por todos los puntos del presupuesto total sin incluir el banco de temperatura e incluyendo el banco de temperatura respectivamente.

- Modelo para el presupuesto total sin incluir el banco de temperatura.

$$\square = \square_1 \square^4 + \square_2 \square^3 + \square_3 \square^2 + \square_4 \square + \square_5$$

Ecuación 7

$$\square_1 = -4,55 * 10^4$$

$$\square_2 = 3,67 * 10^8$$

$$\square_3 = -1,11 * 10^{12}$$

$$\square_4 = 1,49 * 10^{15}$$

$$\square_5 = -7,50 * 10^{17}$$

- Modelo para el presupuesto total incluyendo el banco de temperatura.

$$\square = \square_1 \square^4 + \square_2 \square^3 + \square_3 \square^2 + \square_4 \square + \square_5$$

Ecuación 8

$$\square_1 = -9,86 * 10^4$$

$$\square_2 = 7,95 * 10^8$$

$$\square_3 = -2,40 * 10^{12}$$

$$\square_4 = 3,23 * 10^{15}$$

$$\square_5 = -1,63 * 10^{18}$$

Estos modelos son los ideales, ya que es una aproximación que se ajusta a todos los puntos del presupuesto en los años de interés, es decir, se adapta perfectamente al sistema planteado, sin embargo, no es una herramienta predictiva, puesto que en el tiempo dichos modelos arrojan valores que no son esperados tal como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Aplicación del modelo predictivo propuesto en las Ecuaciones 7 y 8 en Pesos Colombianos (COP).

Año	Presupuesto total sin el banco de temperatura	Presupuesto total con el banco de temperatura
2013	\$ 38.326.144	\$ 61.621.760
2015	\$ 40.412.032	\$ 65.793.536
2018	\$ 48.365.952	\$ 81.521.152
2019	\$ 45.044.608	\$ 77.729.280
2021	\$ 5.441.408	\$ 10.849.792
2025	\$ -394.105.472	\$ -739.245.568

Como se muestra en la Tabla 6, los modelos propuestos según las Ecuaciones 7 y 8 se ajustan adecuadamente al presupuesto calculado por años por medio de la Ecuación 6; sin embargo, estos ajustes polinómicos de grado 4 no describen correctamente el comportamiento a futuro del presupuesto, lo que implica que no pueda ser utilizado para predecir la cantidad de dinero que se requiere para el funcionamiento de la gestión metrológica en años posteriores a 2018.

Por lo anterior se vio la necesidad de reevaluar el modelo predictivo teniendo en cuenta el presupuesto total obtenido desde el año 2015 hasta el año 2018; esto se sustenta en que en las Figuras 5 y 6 se evidencia que a partir de dicho año el comportamiento del presupuesto comienza a conservar una tendencia lineal creciente. En las Figuras 7 y 8 se muestra gráficamente la información que se tendrá en cuenta para la realización del modelo predictivo para el presupuesto sin incluir el banco de temperatura e incluyendo el banco de temperatura respectivamente.

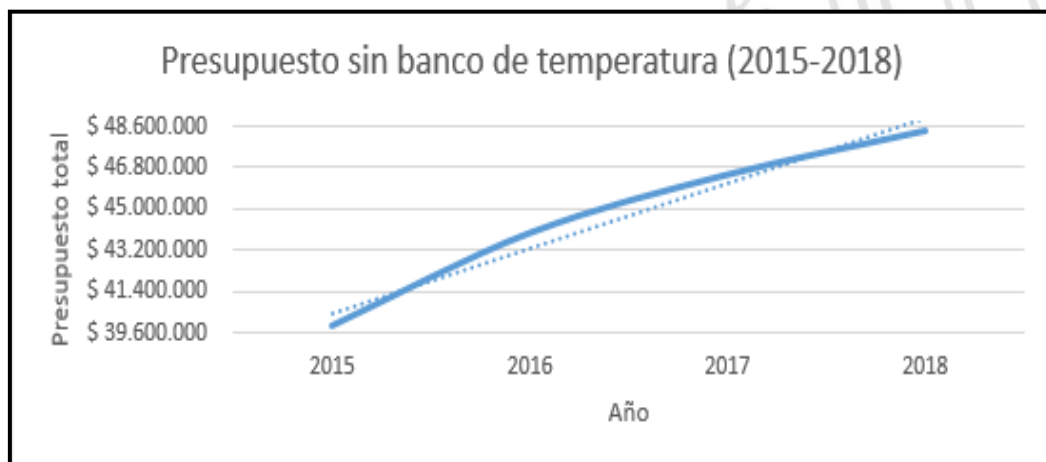


Figura 7. Presupuesto total sin incluir el banco de temperatura desde el año 2015 hasta el año 2018.



Figura 8. Presupuesto total incluyendo el banco de temperatura desde el año 2015 hasta el año 2018.

La tendencia lineal del presupuesto como se muestra en las Figuras 7 y 8 se debe a cambios internos en la gestión metrológica de la FLA, ya que se empezó a implementar un plan de aseguramiento metrológico donde se llevan a cabo verificaciones internas intermedias y calibraciones externas y se ejecutaron las acciones de mejora necesarias al sistema de gestión metrológico. Las Ecuaciones 9 y 10 describen los ajustes polinómicos de primer orden para el presupuesto total sin incluir el banco de temperatura e incluyendo el banco de temperatura respectivamente.

- Modelo para el presupuesto total sin incluir el banco de temperatura desde 2015 hasta 2018.

$$y = (2,82 * 10^6)x - (5,63 * 10^9)$$

Ecuación 9

- Modelo para el presupuesto total incluyendo el banco de temperatura desde 2015 hasta 2018.

$$y = (5,49 * 10^6)x - (1,10 * 10^{10})$$

Ecuación 10

Los modelos presentados en las Ecuaciones 9 y 10 son ajustes lineales que tienen un coeficiente de correlación lineal mayor a 0,97 en ambos casos, por esta razón es posible afirmar que el presupuesto y el año son variables que están linealmente relacionadas. Adicionalmente, en la Tabla 7 se muestran los resultados arrojados por los modelos anteriormente mencionados, con el fin de corroborar que estos sean una herramienta fiable que permita predecir el presupuesto de metrología en años posteriores 2018.

Tabla 7. Aplicación del modelo predictivo propuesto en las Ecuaciones 9 y 10.

Año	Presupuesto total sin el banco de temperatura	Presupuesto total con el banco de temperatura
2013	\$ 34.849.749	\$ 54.582.145
2015	\$ 40.482.482	\$ 65.563.366
2018	\$ 48.931.580	\$ 82.035.196
2019	\$ 51.747.946	\$ 87.525.806
2021	\$ 57.380.677	\$ 98.507.030
2025	\$ 68.646.141	\$ 120.469.470

Estos modelos responden adecuadamente según lo esperado y observado en las Figuras 7 y 8, puesto que como se evidencia en la Tabla 7 el presupuesto aumenta al pasar los años, esto se debe a la inflación, la cual conlleva a el aumento de los precios de bienes y servicios en el país, el ingreso de equipos al plan de aseguramiento metrológico también afecta directamente, ya que generalmente son equipos que requieren calibración externa en laboratorios acreditados, adicionalmente, depende del aumento en la frecuencia que se deben realizar las verificaciones intermedias internas y las calibraciones externas, esta frecuencia se incrementa porque el error de verificación o calibración aumenta, los equipos están desajustados, se utilizan con mayor frecuencia o que requieren mayor control ya que llevan más tiempo en funcionamiento.

Reconocimiento de los costos invertidos en la gestión metrológica

Por medio del modelo planteado en la Ecuación 6 es posible reconocer los costos invertidos en la gestión metrológica, identificando cuales, de estos ocultos para la empresa, en la Tabla 8 se muestran estos.

Tabla 8. Costos ocultos del PAME en Pesos Colombianos (COP).

	2013	2014	2015	2016		
β	\$ 53.244	\$ 194.380	\$ 44.660	\$ 2.315.366	\$ 2.312.167	\$ 2.258.334
δ	\$ 538.728	\$ 554.014	\$ 560.095	\$ 534.248	\$ 531.378	\$ 542.783
ϵ	\$ 14.477.852	\$ 14.948.869	\$ 15.567.010	\$ 16.651.308	\$ 17.661.997	\$ 18.048.910
τ	\$ 57.220	\$ 58.936	\$ 60.976	\$ 69.696	\$ 90.288	\$ 105.696
Total	\$ 15.127.044	\$ 15.756.199	\$ 16.232.741	\$ 19.570.618	\$ 20.595.830	\$ 20.955.722

En la Figura 9 se muestra gráficamente el comportamiento a través de los años del total de los costos ocultos en la aplicación del plan de aseguramiento metrológico.

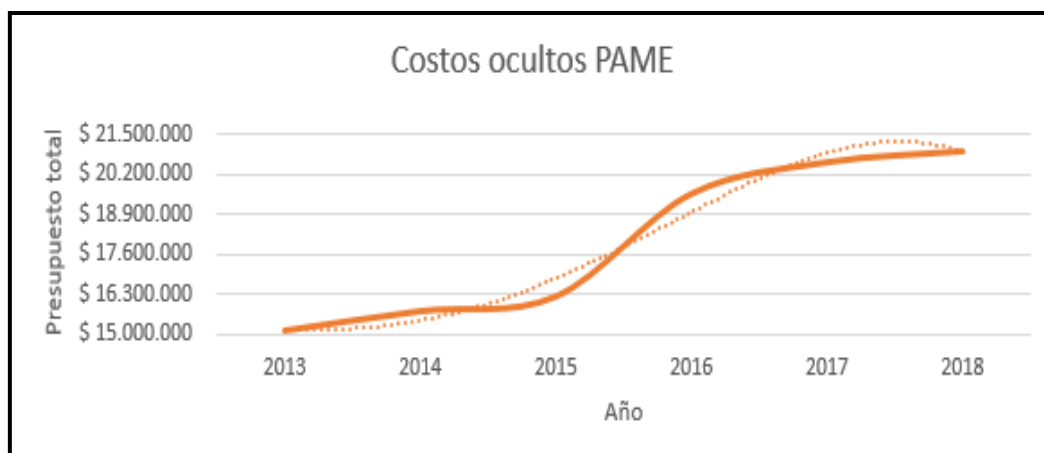


Figura 9. Costos invertidos en la gestión metrológica.

En la Tabla 8 y en la Figura 9 se expone el costo que acarrea llevar a cabo todas las actividades de metrología sin tener en cuenta las calibraciones externas, es decir, las actividades realizadas internamente en pro del funcionamiento del sistema de gestión metrológica. Estos costos son los conocidos como costos ocultos del plan de aseguramiento metrológico, por medio de la figura anteriormente mencionada se demuestra que estos costos tienen un comportamiento similar al presentado en el presupuesto total (véase Figuras 5 y 6), lo cual se justifica en las modificaciones realizadas al PAME, el cual tuvo un cambio de administración entre los años 2014 y 2015, por esta razón se evidencia entre 2015 y 2016 un aumento considerable en la pendiente y en los años posteriores se evidencia que dicho valor tiende a estabilizarse -el valor de la pendiente disminuye-.

Por lo presentado anteriormente, es evidente que todas las actividades que se realizan para la implementación de un Plan de Aseguramiento Metrológico traen como consecuencia solamente gastos para la empresa si no se tiene en cuenta la gran cantidad de beneficios que este representa; puesto que tener control de todas las mediciones que se realizan internamente se refleja en la reducción de reprocesos, reducción de desecho de materias primas y de producto terminado, recepción de cantidades y calidades adecuadas, entrega de productos en cantidades y calidades igualmente adecuadas, equidad, expansión de mercados, cumplimientos normativos, incremento de la productividad y finalmente aumento de las utilidades.

La función principal del programa de aseguramiento metrológico es garantizar la ejecución de medidas precisas y exactas, contando con instrumentos y equipos adecuados, combinados con personal capacitado. El asegurar metrológicamente los procesos genera confiabilidad y permite obtener datos objetivos de cada proceso medido, lo cual trae beneficios económicos para la empresa que se verán reflejados a largo plazo.

9 Conclusiones

Realizar un modelo de costos aplicable al PAME de la FLA permitió conocer los costos que se derivan de la ejecución de estas actividades a través del tiempo, adicionalmente identificar los valores atípicos y la causa de estos permitió realizar el respectivo tratamiento y así fue posible corregir dicho comportamiento lo que trajo como consecuencia que fuera posible modelarlo y así se convirtió en una herramienta predictiva mediante la cual se puedan tomar decisiones.

Los cambios en la administración generaron cambios en el comportamiento del presupuesto, por lo tanto, en caso de que esta volviera a cambiar es necesario reevaluar los productos y servicios que se están utilizando en el sistema de gestión metrológica y de esta manera comprobar si el modelo planteado en este proyecto se ajusta a las actividades y los resultados arrojados por esta herramienta continúan siendo útiles para la toma de decisiones.

Por otro lado, es importante aclarar que el modelo se evalúa y es viable actualmente, esto podría cambiar ya que considerando que las calibraciones externas son el factor que genera mayor aporte al presupuesto cualquier cambio en el precio de estas podría conllevar a que el comportamiento lineal creciente del presupuesto del PAME se vea afectado. Es fundamental tener en cuenta esto, puesto que a medida que el país se desarrolla aumenta la oferta de laboratorios acreditados en el mercado, por lo que es posible que los precios de las calibraciones disminuyan, ya sea porque dichos laboratorios compitan bajando sus precios o porque haya nuevos laboratorios acreditados en la ciudad por lo que el costo de la calibración disminuye debido a que no se requiere pagar envío del equipo o viáticos del personal que realice la calibración –si esta debe ser en sitio-.

En las actividades desarrolladas en la empresa es indispensable conocer todos los costos que conlleva realizarlas y los beneficios que comprende la realización de las mismas, con el fin de tomar decisiones basadas en resultados; en relación a la implementación de un sistema de gestión metrológico se conocieron por medio del modelo los costos implicados en pro de estas labores, adicionalmente, se reconoce que por medio de todas las acciones planteadas en el PAME es posible garantizar que las medidas son exactas y precisas, lo que conlleva a que los procesos sean confiables y que la calidad de los productos ofrecidos sea respaldada metrológicamente.

10 Referencias Bibliográficas

- [1] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC ISO 9001: Sistema de Gestión de Calidad. Requisitos, Bogotá, 2008.
- [2] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación., NTC ISO/IEC 17025: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración., Bogotá, 2005.
- [3] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC 3606. Gestión y aseguramiento de la calidad. Guía de evaluación de los costos resultante de la no calidad., Bogotá.
- [4] Fábrica de Licores y Alcoholes de Antioquia, «Políticas de calidad,» [En línea]. Available: <http://fla.com.co/politicas-de-calidad/>. [Último acceso: 13 agosto 2018].
- [5] A. A, La mala calidad y su costo, Caracas: Addison Wesley Iberoamericana , 1994.
- [6] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC 3606: Gestión y aseguramiento de la calidad. Guía de evaluación de los costos resultantes de la no calidad, Bogotá.
- [7] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC 4203: Guía sobre economía de la calidad. Parte 1. Modelo de costos del proceso, Bogotá.
- [8] F. R. David, Conceptos de planeación estratégica, México: Pearson Educación, 2003.
- [9] J. R. Díaz, METROLOGÍA: Aseguramiento Metrológico Industrial. Tomo II, Medellín: Instituto Metrológico Metropolitano, 2011.
- [10] M. I. Peña, Viviendo la metrología, Bogotá : ICONTEC, 2015.
- [11] Horngren, Ch.T., Datar, S.M., & Foster, G., de Contabilidad de costos, un enfoque gerencial, México, Pearson, 2007, p. 3.
- [12] Chacón, G., «Gestión y la renta empresarial,» de La contabilidad de costos y los sistemas de control, FACES, 2007, pp. 29-45.
- [13] Grupo de investigación en alta tensión, «Memorias del seminario sobre METROLOGÍA APLICADA A LA INDUSTRIA,» Universidad del Valle, Santiago de Cali, 1998.

11 Anexos

- Anexo 1: Base de datos costos.

