

Diseño de Palanca para Calibración de Analizador de Frenos

ESTIVEN ANDRÉS SANABRIA BETANOUR

JUAN DAVID SÁNCHEZ RAMOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
PEREIRA
2016

DISEÑO DE PALANCA PARA CALIBRACIÓN DE ANALIZADOR DE FRENOS

ESTIVEN ANDRÉS SANABRIA BETANCOUR

JUAN DAVID SÁNCHEZ RAMOS

Trabajo de grado para optar a título de tecnólogo en mecatrónica

Director

M.Sc. LUIS GREGORIO MEZA CONTRERAS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
PEREIRA
2016

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, junio 17 de 2016

CONTENIDO

1. RESUMEN.....	6
2. INTRODUCCION.....	7
3. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	9
4. DELIMITACION DEL PROBLEMA.....	10
5. JUSTIFICACION.....	11
6. OBJETIVOS.....	12
7. MARCO REFERENCIAL.....	13
8. NORMAS.....	15
9. ANTECEDENTES.....	16
10. DISEÑO METODOLOGICO.....	21
11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	23
12. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	24
13. ANALISIS DE RESULTADOS Y EVIDENCIAS.....	45
14. CONCLUSIONES.....	49
15. RECOMENDACIONES.....	50
16. BIBLIOGRAFIA.....	51

RESUMEN

Este proyecto pretende realizar el diseño de una palanca para calibración de analizador de frenos. De esta manera se logrará mejorar el método de calibración para analizadores de frenos de Especialistas en Metrología S.A.S. La implementación de nuevas tecnologías será de gran ayuda para realizar el correcto diseño de la palanca de calibración, logrando así calibrar de forma adecuada los analizadores de frenos.

La realización de calibración de los equipos de centro de diagnóstico automotor es vigilada por el organismo nacional de acreditación ONAC, quien verifica el cumplimiento de las normas vigentes. Especialistas en Metrología S.A.S., a pesar de contar con un método válido para la calibración de los analizadores de frenos, busca una alternativa de una palanca de calibración que facilite su manejo y sea compatible con todos los analizadores de frenos. El actual proyecto pretende buscar una manera adecuada para llevar a cabo el debido proceso de calibración. Esto tendrá un impacto positivo en la realización de la calibración de analizadores de frenos por parte de Especialistas en Metrología S.A.S.

Palabras Claves: analizador de frenos, incertidumbre, trazabilidad, calibración, patrón, repetibilidad, reproducibilidad, inter-comparación.

INTRODUCCIÓN

La calibración de los analizadores de frenos cumple un papel muy importante en los centros de diagnóstico automotor, debido a que brinda la confiabilidad de sus medidas garantizando así la calidad de su servicio.

Los centros de diagnóstico automotor están vigilados por un organismo de acreditación nacional ONAC, que se encarga de revisar la trazabilidad de sus equipos para garantizar un buen servicio a la comunidad.

Especialistas en Metrología S.A.S., es una empresa que se encarga de realizar las verificaciones y calibraciones a los equipos bajo control metrológico de los centros de diagnóstico automotor, incluyendo el analizador de frenos. La empresa posee una palanca para la calibración de los analizadores de frenos que cumple con los parámetros necesarios para prestar el servicio, además se encuentra acreditado por el organismo de acreditación nacional ONAC. La palanca de calibración existente en la empresa es poco práctica a la hora de realizar las calibraciones a los analizadores de frenos, ya que se debe manejar muchas masas patrón para generar la fuerza necesaria, además posee varias bases para la instalación de la palanca en el analizador de frenos.

En este proyecto se propone el diseño y construcción de una palanca para la calibración de los analizadores de frenos con mejores características y confiabilidad que la existente en Especialistas en Metrología S.A.S., utilizando una única masa patrón desplazable a lo largo de la palanca de calibración, para ajustar el punto deseado y con una única forma de sujeción, de esta manera se podrá realizar el proceso de manera más práctica y sencilla.

DISEÑO DE PALANCA PARA CALIBRACIÓN DE ANALIZADOR DE FRENOS

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO O DESCRIPCIÓN

Los frenos en el vehículo juegan un rol importante, ya que hace parte de la seguridad activa del mismo, por este motivo se deben hacer revisiones periódicas en centros de diagnóstico automotor (CDA) que estén acreditados ante el organismo nacional de acreditación de Colombia ONAC, donde poseen equipos aptos para su análisis, tal como lo es el analizador de frenos, utilizado para probar los frenos del automóvil. La barra de calibración utilizada por Especialistas en Metrología S.A.S, necesita de bases para adaptar la barra de calibración al frenómetro, además posee una canasta donde se ubican las masas patrón para ejercer la fuerza. Este proceso de calibración es complejo ya que se debe seleccionar la base adecuada para instalar la barra de calibración, teniendo en cuenta que no todos los frenómetros de rodillo poseen la misma dimensión. El procedimiento se vuelve poco práctico cuando es muy grande la fuerza necesaria, ya que es complejo para el personal organizar dichas masas en la canasta, además el manejo de los patrones en estas condiciones puede provocar un desgaste y aumento del error en la medición.

1.2. FORMULACIÓN

¿Es posible desarrollar un mecanismo de calibración que posea una base capaz de adaptarse a cualquier tipo de frenómetro y reducir la canasta a una sola masa patrón?

1.3. SISTEMATIZACIÓN

¿Existen barras de calibración sin emplear canastilla?

¿Existen barras de calibración con base genérica?

¿Es posible que con este método se logre reducir la incertidumbre en el proceso de calibración en los analizadores de frenado?

2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Este documento busca mejorar el procedimiento de calibración del analizador de frenos de rodillo de Especialistas en Metrología S.A.S., mediante una barra de calibración. Para realizar dicho procedimiento se tendrá en cuenta las dimensiones de la barra de calibración, ecuaciones y conceptos metrológicos, implementando así el complemento mecatrónico indicado.

La parte de desarrollo e investigación será realizada por los estudiantes Juan David Sánchez Ramos y Estiven Andres Sanabria Betancur, contando con los equipos tecnológicos, procedimientos y demás herramientas que se encuentran en las instalaciones de Especialistas en Metrología S.A.S. La investigación se realizará en un tiempo estimado de 10 semanas.

El diseño de este proyecto será realizado dentro de la línea de Metrología, contando con el apoyo del M.Sc. Luis Gregorio Meza Contreras como director y con el acompañamiento y supervisión de la Ingeniera María Monica Palacio como codirectora.

3. JUSTIFICACIÓN

La metrología es un área importante de la ingeniería que se ocupa de las mediciones, unidades de medida y de los equipos utilizados para efectuarlas, así como de su verificación y calibración periódica. Las mediciones son importantes en la mayoría de los procesos productivos e industriales. Prácticamente todas las empresas, sean grandes, medianas o pequeñas, tienen “necesidades metrológicas”. Según la norma técnica colombiana NTC-17020 (internacional, 2012), “*numeral 6.2.6. Cuando corresponda, los equipos de medición que tienen una influencia significativa en los resultados de la inspección deben ser calibrados antes de su puesta en servicio, y a partir de entonces, según un programa establecido*”. Por tal motivo es necesario hacer una calibración periódica de dicho equipo.

La calibración exacta del analizador de frenos es importante, en él se verifica si cumple con el error máximo permitido “del 2% de la indicación según la NTC 5385 (Norma Técnica Colombiana, 2010)”, ya que de esto depende la exactitud del equipo al momento de realizar las pruebas diagnósticas a los frenos del vehículo.

Una calibración realizada con equipos cuyo desgaste es muy alto arrojará de igual manera un error de medida alto, por este motivo se debe asegurar que los equipos patrones sufran un desgaste mínimo. El diseño apropiado para el sistema de generación de fuerza debe ser práctico al momento de su instalación para facilitar el trabajo del operario, evitar posibles accidentes, y reducir el desgaste al patrón masa.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseño y validación de un sistema de generación de fuerza para calibración de frenómetro de rodillo.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar sistema de generación de fuerza.
- Realizar ensayo al material utilizado y su correspondiente análisis.
- Validar sistema de generación de fuerza.
- Realizar pruebas de precisión intermedia.
- Realizar inter comparación contra un sistema generador de fuerza de referencia.
- Analizar resultados.
- Diseño de procedimiento para la calibración de analizadores de frenados utilizando la barra propuesta.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. DEFICIONES

5.1.1. Metrología:

La metrología es una herramienta que apoya la gestión de calidad y competitividad de la industria, ya que permite suministrar evidencia objetiva de la calidad de un proceso o de un producto, debido a que en muchos casos, la calidad de éstos depende de mediciones confiables, que son suministradas por equipos de medición, los cuales deben ser precisos. Para asegurar esta precisión en los equipos y tener la certeza de que las mediciones efectuadas son exactas, estos instrumentos deben ser calibrados, es decir, comparados contra patrones nacionales o internacionales reconocidos.

(Icontec, 2014)

5.1.2. Incertidumbre De Medida:

Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando (medir, determinar o averiguar una magnitud), a partir de la información que se utiliza.

(Instituto Nacional de Metrología, 2008)

5.1.3. Calibración:

Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

(Instituto Nacional de Metrología, 2008)

5.1.4. Frenómetro De Rodillos:

Equipo para comprobar el rendimiento y estado de los frenos de vehículos ligeros y semi-industriales.

La función del frenómetro de vehículos ligeros y semi-industriales es realizar una rápida y eficaz verificación del estado de funcionamiento del control de frenado en el vehículo, midiendo con precisión su frenada máxima en cada uno de los ejes tanto del freno de pie, como el de mano, así como la ovalidad existente en los discos o tambores de freno y el desequilibrio que hay entre las 2 ruedas del mismo eje.

El equipo se compone de una bancada de rodillos recubiertos de soldadura (opcionalmente corindón), que garantizan una buena adherencia de los neumáticos

en condiciones adversas y está equipada con motoreductores y galgas extensiométricas para la medición del esfuerzo de frenada del vehículo.

(Histron, s.f.)

5.1.5. Patrón De Medida:

Realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia.

(Instituto Nacional de Metrología, 2008)

5.1.6. Evaluación de incertidumbre tipo A

La incertidumbre de una magnitud de entrada X_i obtenida a partir de observaciones repetidas bajo condiciones de repetibilidad, se estima sobre la base de la dispersión de los resultados de mediciones individuales. Sólo cuando existe suficiente resolución en el proceso de medición, la dispersión de las observaciones podrá advertirse, puesto que se obtendrán un grupo de valores diferentes al repetir la medición en condiciones prácticamente iguales, algunos de los cuales pueden o no volver a aparecer.

(Sifredo j. Sáez Ruiz, 2001)

5.1.7. Evaluación de incertidumbre tipo B

Una evaluación tipo B de la incertidumbre estándar se realiza cuando no se dispone de información sobre la posible variabilidad de la magnitud dada para hacer un análisis estadístico. En tal caso, la incertidumbre estándar $U_B(X_i)$ se evalúa mediante juicios y criterios científicos, basados en toda la información disponible sobre la variabilidad de X_i .

Las fuentes de información pueden ser:

- Certificados de calibración.
- Manuales de los instrumentos de medición.
- Normas o literatura.
- Valores de mediciones anteriores.
- Conocimiento sobre las características o el comportamiento del Sistema de medición.

(Sifredo j. Sáez Ruiz, 2001)

5.2. NORMAS

5.2.1. NTC 5385:

5.2.1.1. Analizador de Frenos de Línea Liviana:

- Fondo de escala fuerza de frenado mayor o igual a 6.000 N por rueda.
- Precisión de medida de fuerza de frenado, 2 %.

5.2.1.2. Analizador de Frenos de Línea Mixta y Pesados:

- Fondo de escala fuerza de frenado: mayor o igual a 30 kN por rueda en rodillos.
- Precisión de medida de fuerza de frenado: 2 %.

5.2.1.3. Analizador de Frenos de Línea Motos:

- Fondo de escala fuerza de frenado; mayor o igual a 3 000 N por rueda.
- Precisión de medida de fuerza de frenado: 2 %.

(Norma Técnica Colombiana, 2010)

5.2.2. NTC 5375:

5.2.2.1. Eficacia de Frenado:

Se entiende por eficacia (E) la relación en porcentaje de la suma de las fuerzas de frenado respecto el peso total, vacío, en el momento de la prueba. Se deducirá por la fórmula:

$$E = 100 * \left(\frac{F}{P}\right)$$

E = Valor de la eficacia en porcentaje (%).

F = suma de todas las fuerzas de frenado, en Newton (N).

P = Masa total vacío (Kg), Por gravedad (9,81 m/s²).

5.2.2.2. Desequilibrio por eje:

Se entiende por desequilibrio (D) la diferencia de esfuerzos de frenado entre las ruedas de un mismo eje. La medida del desequilibrio se efectuará, por consiguiente, por cada eje, y se hallará como porcentaje de la rueda que frena menos respecto a la que frene más. Se tomará, para cada rueda, como esfuerzo de frenado, el valor máximo que indique el frenometro.

$$D = 100 * \left(\frac{F_{max} - F_{min}}{F_{max}} \right)$$

En donde:

F_{max} = Valor máximo registrado entre las dos ruedas del mismo eje.

F_{min} = Valor mínimo registrado entre las dos ruedas del mismo eje.

(Norma Técnica Colombiana, 2010)

5.3. ANTECEDENTES

5.3.1. Ingeniería 19 (1): 35-44, ISSN: 1409-2441; 2009. San José, Costa Rica VALIDACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA CALIBRACIÓN DE FRENÓMETROS PARA MOTOCICLETAS Y PARA VEHÍCULOS LIVIANOS.

“Se calibran tres tipos de frenómetros: los de motocicletas y vehículos livianos en su escala de fuerza; los universales (utilizados para vehículos pesados) en su escala de fuerza y masa.

Para calibrar el frenómetro en su escala de fuerza, se coloca la barra de calibración, de forma horizontal respecto al suelo, y con la barra de contrapeso se asegura la indicación a cero. La masa patrón se coloca en la primera muesca certificada de la barra, simulando un valor de fuerza conocido que se compara con la indicación que muestra la consola del frenómetro. El proceso descrito se realiza en todas las muescas certificadas de la barra de calibración 0,5 kN, 1 kN, 2 kN, 3 kN para motocicletas; los puntos anteriores, 4 kN y 5 kN para vehículos livianos; 3 kN, 6 kN, 9 kN, 12 kN, 15 kN para vehículos pesados), en orden ascendente, y se repite pero en sentido descendente. Se registran la temperatura y la humedad relativa del sitio antes y después de la calibración.” (Sánchez, 2009)

Figura 1. Barra de Calibración.



Fuente: (Sánchez, 2009)

5.3.2. ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE UN FRENÓMETRO

“Los instrumentos utilizados para poder llevar a cabo la calibración del instrumento son:

- Barra de calibración de doble palanca. Un eje de rotación separa esta barra en dos partes. Una parte más corta que contiene una muesca para colocar un tirante y poder anclarlo al frenómetro, y una parte más larga sobre la que se apoyan las masas calibradas.

- Juego de masas patrón. Éstas contienen la geometría conveniente para poder ser apoyadas en la barra de calibración, y su valor nominal es de 5 kg, 15 kg, 30 kg y 45 kg.

- Calibre pie de rey. Con él se medirá el diámetro de los rodillos.

- Equipo de medida de condiciones ambientales (temperatura, humedad y presión).

- Inclínómetro digital. Se utiliza para medir la máxima flexión de la barra al colocar la masa en su extremo.

- Nivel

La geometría y disposición de los elementos en algunos frenómetros, impide el acceso a los rodillos con un pie de rey. En este caso, además de los instrumentos de medida mencionados, será necesario el uso de:

- Sonda de profundidad

- Circómetro (cinta de trazos flexible)

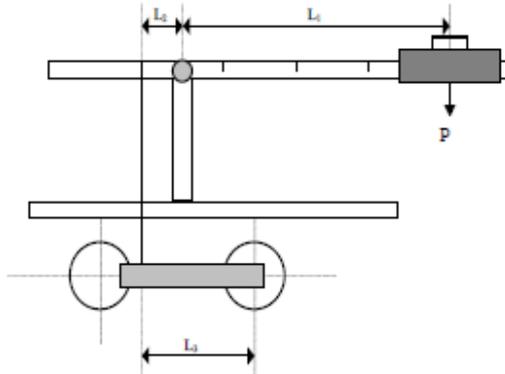
Los frenómetros universales tienen tres posiciones de funcionamiento. Pueden funcionar en posición de ligeros, en posición de pesados o en modo único.

Para el funcionamiento en posición de ligeros, en lugar de utilizar la barra de calibración de doble palanca, se utiliza una barra de calibración de palanca sencilla.

- Barra de calibración de palanca sencilla. Esta barra se acopla al frenómetro por uno de sus extremos mediante tornillos, y del otro extremo se apoyan una serie de masas calibradas. Las masas se sitúan sobre unas muescas situadas en la parte superior de la barra.

Durante el procedimiento de medida, lo que se busca es obtener el momento de accionamiento que se produce en el frenómetro, y compararlo con el momento de accionamiento que produce el sistema de calibración. (Rodríguez, 2013)

Figura 2. Barra de Calibración de Doble Palanca.



Fuente: (Rodríguez, 2013)

5.3.3 CALIBRACIÓN - VERIFICACIÓN DE FRENÓMETROS DE RODILLO

“La calibración y/o verificación de frenómetros de rodillo se realiza mediante el método de sistema de transferencia de par torsional con instrumento patrón para generación de par torsional con brazo de palanca y masas suspendidas.

El montaje de la base para la palanca se realiza sobre el eje del rodillo del frenómetro de acuerdo a su configuración y se procede a ubicar la barra o palanca.” (Especialistas en Metrología S.A.S., 2014)

En este procedimiento de calibración se especifica además que los equipos y materiales necesarios para realizar la calibración del analizador de frenos son, juego de masas patrón, cinta métrica flexible o pie de rey, barra de calibración, base para la palanca, canasta, nivel digital, y termohigrómetro¹.

Figura 3. Barra de Calibración de Especialistas en Metrología S.A.S.



Fuente: (Especialistas en Metrología S.A.S., 2014)

¹ Dispositivo utilizado para medir temperatura y humedad ambiente.

5.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ANTECEDENTES

Tabla 1. Análisis comparativo de antecedentes.

ANTECEDENTES	TIPO DE BARRA	PATRÓN DE MEDIDA	CONTRIBUCIÓN DE INCERTIDUMBRE
<p>Ingeniería 19 (1): 35-44, ISSN: 1409-2441; 2009. San José, Costa Rica</p>	<p>Palanca simple</p>	<p>Masa patrón. Extenciómetro. Termohigrómetro.</p>	<p>Error por resolución de las mediciones de fuerza en el indicador del frenómetro. Error por trazabilidad de las marcas de longitud de la barra de calibración. Error por trazabilidad de la masa patrón. Error por el efecto de la histéresis mecánica del sistema de medición.</p>
<p>ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE UN FRENÓMETRO.</p>	<p>Doble palanca</p>	<p>Juego de masas patrón. Pie de rey. Termohigrómetro. Inclinómetro. Circómetro.</p>	<p>Incertidumbre típica de la masa patrón. Incertidumbre típica de la gravedad. Incertidumbre típica de las longitudes. Incertidumbre típica del diámetro del rodillo de arrastre.</p>
<p>CALIBRACIÓN - VERIFICACIÓN DE FRENÓMETROS DE RODILLO</p>	<p>Palanca simple</p>	<p>Juego de masas patrón. Cinta métrica flexible o pie de rey. Nivel digital. Termohigrómetro</p>	<p>Incertidumbre de masa patrón. Incertidumbre de cálculo de gravedad. Incertidumbre por corrección de cinta métrica. Incertidumbre por corrección de cinta métrica flexible. Incertidumbre por medición de ángulo. Incertidumbre por repetibilidad del instrumento Incertidumbre por corrección de cinta métrica. Incertidumbre por error de redondeo de indicación.</p>

5.5. ELECCION DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

El diseño de la palanca para la calibración de analizador de frenos en este proyecto se determina por medio de una doble palanca con una única masa desplazable en el eje X.

Se propone realizar un diseño en Autodesk Inventor, donde se mostrará las medidas y planos de la palanca diseñada. Posteriormente se realizará la construcción de la palanca siguiendo el plano realizado en el programa mencionado.

Se realizarán pruebas en Centros de Diagnóstico Automotor instalando en los analizadores de frenos la palanca diseñada, y tomando los mismos puntos que Especialistas en Metrología S.A.S. para realizar la inter comparación con su palanca patrón, que de igual manera se instalará posteriormente en los mismos analizadores de frenos. Con este procedimiento obtenemos los datos necesarios para realizar los cálculos de inter comparación y el análisis de los resultados obtenidos.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

Para llevar a cabo el desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos en el documento, se realizarán varias actividades, las cuales están expuestas en la siguiente tabla junto con el proceso que se debe aplicar a cada una para cumplir con las entregas correspondientes.

Tabla 2. Diseño metodológico.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	PROCESO	ENTREGA
Diseñar sistema de generación de fuerza.	Realizar un diseño de la barra de calibración.	Tomar las medidas necesarias para realizar los planos en Autodesk Inventor	Planos 2D y 3D
	Calculo de masa para barra de calibración	Recolectar los datos de los puntos máximos de cada tipo de analizador de frenos de rodillo	Cálculos de fuerza ejercida por la barra de calibración
Realizar ensayo al material utilizado y su correspondiente análisis.	Realizar un ensayo de pruebas de la resistencia del material en un laboratorio competente	Llevar la barra de calibración a un laboratorio que realice dichas pruebas	Análisis sobre los resultados obtenidos en el laboratorio
Validar sistema de generación de fuerza	Realizar pruebas de repetibilidad y reproducibilidad. Calcular incertidumbre asociada a la calibración	Realizar la toma de medidas implementando la barra diseñada en distintos analizadores de frenos. Identificar y calcular las contribuciones de incertidumbre asociadas al proceso	Resultados de la prueba de repetibilidad y reproducibilidad. Resultado de incertidumbre del proceso de calibración
Realizar pruebas de precisión intermedia	Realizar inter-comparación contra sistema generador de fuerza	Realizar el análisis matemático consecuente con la actividad	Análisis de los resultados obtenidos
Realizar inter comparación contra un sistema generador de	Realizar pruebas de calibración con la barra diseñada y la barra existente en Especialistas en	Realizar montaje de ambas barras de calibración y	Resultados obtenidos con su

fuerza de referencia	Metrología S.A.S. en Centros de Diagnóstico Automotor	comparar los resultados obtenidos	respectiva comparación
Analizar resultados	Analizar resultados con la inter comparación	Estudiar los datos obtenidos y sacar conclusiones	Resultado del análisis
Diseño de procedimiento para la calibración de analizadores de frenados utilizando la barra propuesta	Establecer el orden adecuado para su correcta instalación en los diferentes equipos	Tomar nota de cada instalación realizada y determinar la mejor forma de aposentar la barra de calibración	Procedimiento de calibración para analizadores de frenos

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 3. Cronograma de actividades.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Realizar un diseño de la barra de calibración.		X	X	X						
Calculo de masa para barra de calibración	X									
Realizar un ensayo de pruebas de la resistencia del material en un laboratorio competente					X					
Realizar pruebas de calibración con la barra diseñada y la barra existente en Especialistas en Metrología S.A.S. en Centros de Diagnóstico Automotor						X	X			
Analizar resultados con la inter comparación								X		
Establecer el orden adecuado para su correcta instalación en los diferentes equipos									X	X

Nota: Las actividades del cronograma se empezarán a realizar desde la primera semana del mes de enero hasta la segunda semana del mes de marzo del presente año.

8. DESARROLLO DEL PROYECTO

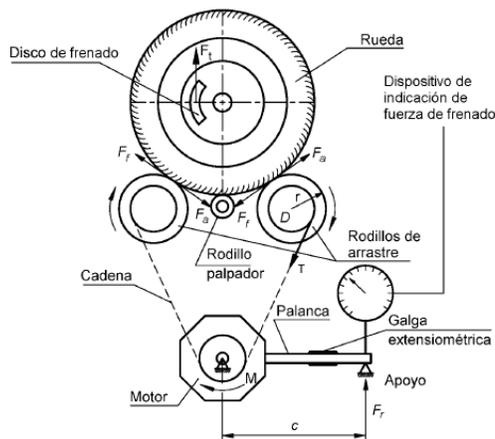
8.1. DISEÑO DE LA BARRA DE CALIBRACIÓN

8.1.1 Configuración física de los analizadores de frenos de rodillos.

8.1.1.1 Analizador de frenos de rodillos para motos

La configuración del frenómetro de rodillos para motos es como se indica en la figura 4, el mecanismo de funcionamiento del analizador de frenos es que al iniciar la prueba, el motor hace girar los rodillos entre 4 y 15 km/h, (Norma Técnica Colombiana, 2010), al presionar los frenos del automóvil la llanta del automóvil ejerce una fuerza contraria al movimiento de los rodillos, que a su vez van en contra del sentido de giro del motor, causando así que el motor gire sobre su eje y ejerza una fuerza en el punto de apoyo donde está ubicada la celda de carga. Teniendo en cuenta esta configuración, al ejercer una fuerza ascendente en el motor se simulará entonces la fuerza de frenado del automóvil.

Figura 4. Analizador de frenos.



Fuente: (Norma Española, 2007)

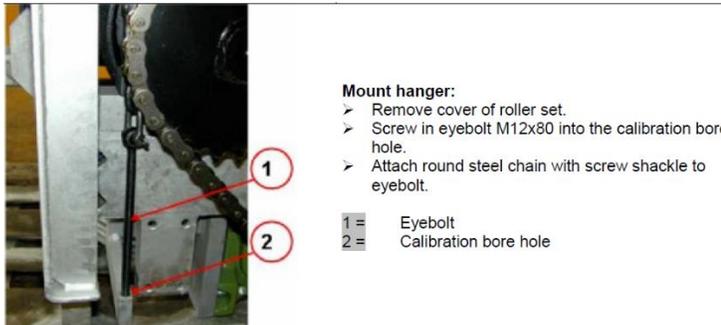
8.1.1.2 Analizador de frenos de rodillos para vehículos livianos

El mecanismo de funcionamiento es igual que el anteriormente mencionado, por lo tanto la aplicación de la fuerza es igual al del analizador de frenos de rodillos para motos, pero variando la cantidad de fuerza ejercida debido a consideraciones que más adelante explicaremos.

8.1.1.3 Analizador de frenos de rodillos para vehículos pesados

La configuración del analizador de frenos de rodillos para vehículos pesados es distinta a las anteriores, ya que está sometido a fuerzas más grandes; en la imagen 5, vemos la configuración para la calibración del analizador de frenos dada por el fabricante.

Figura 5. Configuración analizador de frenos mixtos



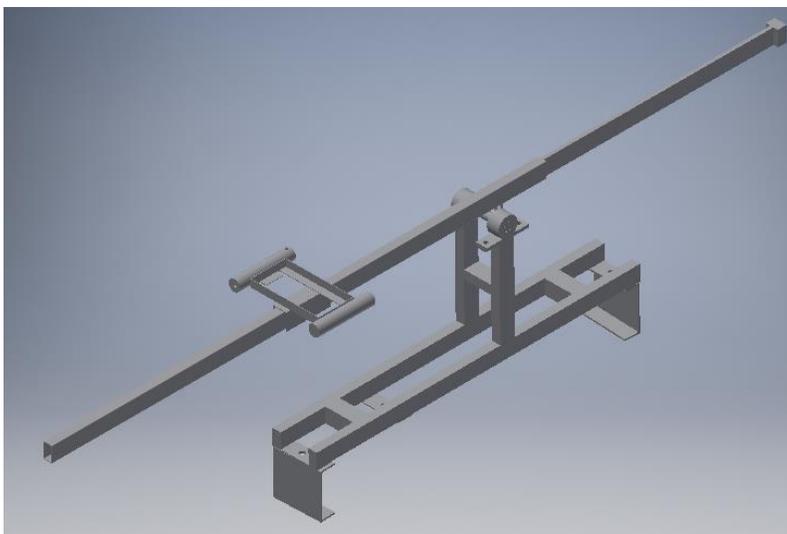
Fuente: (MOTORSCAN, 2005)

En éste caso el sentido de la fuerza a ejercer también es de forma ascendente, lo que nos facilita el diseño de una base universal.

8.1.2. Diseño de la palanca de calibración en Autodesk Inventor

Tomando en cuenta las consideraciones anteriormente mencionadas, se llega al diseño presentado en la figura 6.

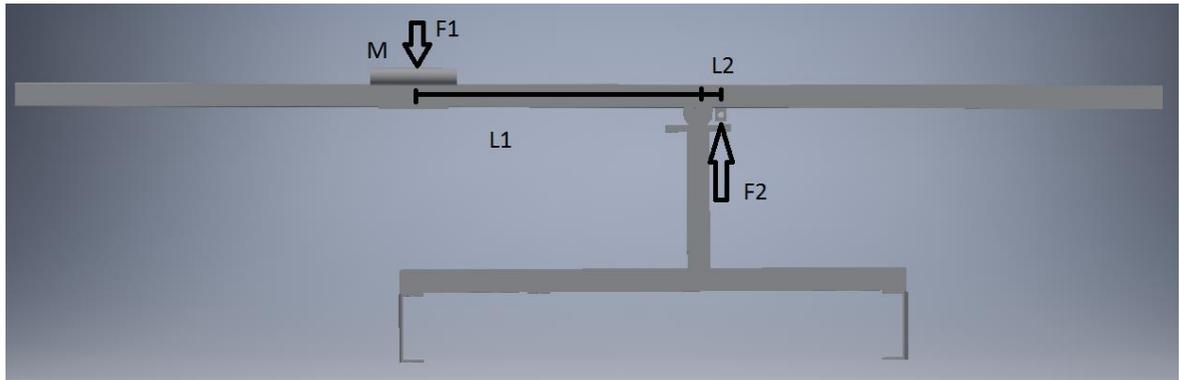
Figura 6. Diseño de palanca de calibración.



8.1.2.1. Ecuación para el cálculo de la fuerza

Según el diseño propuesto, tenemos el siguiente análisis.

Figura 7. Análisis de fuerzas.



G = Gravedad en el sitio de calibración (m/s^2)

M = Masa (kg).

F1 = Fuerza 1 (N).

F2 = Fuerza 2 (N).

L1 = Distancia entre el eje de la barra de calibración y la masa (m).

L2 = Distancia entre el eje de la barra de calibración y el orificio de sujeción.

Para el análisis de fuerzas, decimos que:

$$F1 = M * g$$

Ecuación 1. Fuerza que ejerce la masa a la barra de calibración.

Según las características constructivas de la barra de calibración, el fenómeno físico observado se puede modelar a través de momento² torsor, donde tenemos que:

$$mf = F1 * \frac{L1}{L2} * L3$$

Ecuación 2. Momento que ejerce la barra de calibración al frenómetro.

Donde:

F1 = Peso de la masa patrón (N).

L1 = Distancia entre el eje de la barra de calibración y la masa (m).

L2 = Distancia entre el eje de la barra de calibración y el orificio de sujeción.

² magnitud (pseudo)vectorial, obtenida como producto vectorial del vector de posición del punto de aplicación de la fuerza (con respecto al punto al cual se toma el momento) por el vector fuerza

L3 = Distancia entre la sujeción de la barra de calibración y el eje de rodillo.

El mecanismo de funcionamiento de los frenómetros de rodillos en general se basa en la ley de momentos, donde tenemos que:

$$mf = Ff * r$$

Ecuación 3. Momento que ejerce el vehículo al frenómetro.

Donde:

Mf = Momento del frenómetro.

Ff = Fuerza de frenado del vehículo.

r = Radio del rodillo.

Teniendo en cuenta que el momento tursor ejercido por la barra de calibración es el mismo momento tursor que ejerce el vehículo sobre el analizador de frenos, tenemos que.

$$Ff * r = F1 * \frac{L1}{L2} * L3$$

Ecuación 4. Relación entre la barra de calibración y el analizador de frenos.

Reemplazando la ecuación 1 y despejando Ff.

$$Ff = M * g * \frac{L1}{L2} * \frac{L3}{r}$$

Ecuación 5. Fuerza de frenado.

8.1.2.2. Cálculo del error de indicación

Para el cálculo de error de indicación se tiene en cuenta la ecuación 6.

$$Ei = Fr - Fi$$

Ecuación 6. Error de indicación.

Teniendo en cuenta que:

Ei = Error de indicación.

Fr = Fuerza de referencia.

Fi = Fuerza indicada en el instrumento bajo prueba.

Despejando la ecuación 5 en la ecuación 6, tenemos que:

$$Ei = \left(M * g * \frac{L1}{L2} * \frac{L3}{r} \right) - Fi$$

Ecuación 7. Error de indicación.

8.2. Ensayo al material utilizado

Para la construcción física del diseño, se tiene en cuenta que la fuerza máxima ejercida en el punto L₂, cuando la masa máxima (25 kg) se encuentra en la distancia final (1,5 m) la fuerza ejercida es de 6125 N, y al material para la construcción de la palanca de calibración se le debe aplicar ensayo de resistencia a la flexión y tracción. Al ser un ensayo destructivo, se debe enviar al laboratorio una copia del material que se utilizará para la construcción de la palanca y se selecciona un perfil de acero, cuyas características son idénticas a la palanca empleada por Especialistas en Metrología S.A.S., cuyo ensayo al material realizado está identificado por el informe de laboratorio No. 01-2445-233, y los resultados de la prueba se muestran en la tabla 1.

Tabla 4. Resultado de análisis de material.

ENSAYO RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	
Fuerza máxima	7490 kgf
Elasticidad del material	2*10 ⁴ kgf/cm ²
ENSAYO DE ESFUERZO MECANICO A TRACCIÓN	
Esfuerzo de fluencia	3222,07 kgf/cm ²

Según los datos obtenidos a partir del ensayo, el material a emplear es el adecuado para realizar las calibraciones de los analizadores de frenos, ya que la fuerza máxima que puede ejercer la palanca diseñada se encuentra muy por debajo de los límites del material a utilizar.

8.3. Validar sistema de generación de fuerza

8.3.1. Contribuciones de incertidumbre

Para el cálculo de incertidumbres, partimos de la ecuación 7, donde observamos los factores que influyen directamente en la calibración del instrumento bajo prueba. Identificando y cuantificando las fuentes de incertidumbre y su coeficiente de sensibilidad³ para éste método de calibración, tenemos que:

8.3.1.1. Incertidumbre de masa patrón

El peso de la masa patrón es dado por el certificado de calibración realizada en un laboratorio externo y acreditado frente a un organismo nacional de acreditación, lo que nos asegura un correcto valor de la masa nominal y su incertidumbre asociada.

Tenemos dos fuentes de incertidumbre asociada a la masa patrón, que interfieren en la calibración del equipo, siendo la incertidumbre por corrección de la masa nominal y la corrección por deriva de la masa.

8.3.1.1.1. Incertidumbre por corrección de la masa nominal

Consideramos una distribución normal para el cálculo.

$$U_m = \frac{U_{c1}}{K}$$

Ecuación 8. Cálculo incertidumbre de masa patrón.

Donde:

U_m = Incertidumbre por corrección de la masa nominal.

U_{c1} = Incertidumbre dada por el certificado de calibración de la masa patrón 1

K = Factor de cobertura $K=2$

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 12.

8.3.1.1.2. Incertidumbre por corrección de deriva de la masa patrón

Consideramos una distribución rectangular, y teniendo en cuenta que para el cálculo tenemos el histórico de certificados de la masa patrón.

³ Para el cálculo del coeficiente de sensibilidad se toma la ecuación de error de indicación (ecuación 7) y se deriva con respecto a la variable a la cual se realiza el cálculo de incertidumbre.

$$U_{dm} = \frac{\sqrt{\partial_1^2}}{\sqrt{3}}$$

Ecuación 9. Calculo incertidumbre por deriva de la masa patrón.

En la ecuación 10, observamos el cálculo de la deriva, y se tiene como aclaración que las incertidumbres son consideradas si los certificados pertenecen a laboratorios distintos, en caso contrario las incertidumbres para éste cálculo no son tomadas en cuenta.

$$\partial = |E_{p(n)} - E_{p(n-1)}| + U_{pn} + U_{pn-1}$$

Ecuación 10. Calculo deriva.

En caso de no poseer los datos de certificados anteriores, se considera el valor de la deriva de la siguiente manera:

$$\partial = \frac{U_c}{\sqrt{3}}$$

Ecuación 11. Calculo deriva sin histórico de certificados.

Donde:

∂ = Deriva

∂_1 = Deriva de la masa patrón 1

∂_2 = Deriva de la masa patrón 2

U_{dm} = Incertidumbre por la deriva de la masa patrón

$E_{p(n)}$ = Error certificado de calibración vigente

$E_{p(n-1)}$ = Error certificado de calibración anterior

U_{pn} = Incertidumbre del certificado de calibración vigente

U_{pn-1} = Incertidumbre del certificado de calibración anterior

U_c = Incertidumbre del certificado de calibración

La sensibilidad asociada a la incertidumbre de la masa patrón, se presenta como:

$$\frac{\delta E}{\delta M} = \frac{g * L_1 * L_3}{r * L_2}$$

Ecuación 12. Coeficiente de sensibilidad para incertidumbre masa.

8.3.1.2. Incertidumbre por cálculo de la gravedad

La aceleración de la gravedad local puede calcularse de acuerdo con la ecuación recomendada por la organización internacional de metrología legal en el boletín OIML 127 (Thulin, A. 1992), con una exactitud del 0,01%.

$$g_L = g_e * (1 + f * \text{sen}^2\phi - f_4 * \text{sen}^22\phi) - 3,086 * 10^{-6} * H$$

Ecuación 13. Cálculo de la gravedad local.

Donde:

g_L = aceleración de la gravedad local, en m/s^2

$g_e = 9,780318 \text{ m/s}^2$, aceleración de la gravedad en el ecuador ($\Phi=0^\circ$)

$f = 0,0053024$ (aplasmamiento gravitacional)

$f_4 = 0,0000058$

Φ = latitud en grados ($^\circ$)

H = Altitud (ortométrica) sobre el nivel medio del mar, en metros (m)
(laboratorio de metrología Metas S.A.)

La incertidumbre asociada al cálculo de la gravedad, se considera con distribución rectangular, y está dada por:

$$U_g = \frac{g_0 - g_t}{\sqrt{3}}$$

Ecuación 14. Incertidumbre por cálculo de la gravedad.

Donde:

U_g = Incertidumbre por cálculo de la gravedad

g_0 = gravedad de referencia ($g_0 = 9,806650 \text{ m/s}^2$)

g_t = gravedad calculada

Y el coeficiente de sensibilidad asociado a su cálculo es:

$$\frac{\delta E}{\delta g} = \frac{M * L_1 * L_3}{r * L_2}$$

Ecuación 15. Coeficiente de sensibilidad para cálculo de incertidumbre gravedad

8.3.1.3. Incertidumbre por medición de L_1

Para medir la distancia L_1 se utiliza el flexómetro y su cálculo de incertidumbre es dada por el certificado de calibración, la deriva del instrumento, su división de escala, y la repetibilidad de las medidas teniendo en cuenta que se toman 4 medidas en cada punto de calibración.

8.3.1.3.1. Incertidumbre según el certificado de calibración

Teniendo en cuenta la incertidumbre reportada en el certificado de calibración del flexómetro, se tiene que:

$$U_c = \frac{U_{flexometro}}{K}$$

Ecuación 16. Incertidumbre según el certificado de calibración.

Donde:

U_c = Incertidumbre del flexómetro

$U_{flexómetro}$ = Incertidumbre dada por el certificado de calibración

K = Factor de cobertura K=2

Su coeficiente de sensibilidad está dado por:

$$\frac{\delta E}{\delta L_1} = \frac{M * g * L_3}{r * L_2}$$

Ecuación 17. Coeficiente de sensibilidad para medición de L1.

8.3.1.3.2. Incertidumbre por la división de escala del flexómetro

El cálculo de la incertidumbre por la división de escala del flexómetro, y considerando una distribución rectangular, se tiene que:

$$U_{de} = \frac{Div. escala}{2 * \sqrt{3}}$$

Ecuación 18. Incertidumbre por división de escala.

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 17.

8.3.1.3.3. Incertidumbre por repetibilidad de la medida

Para el cálculo de la incertidumbre por repetibilidad de la medida se tiene en cuenta que se toman 4 mediciones de L1. Por lo que tenemos que:

$$U_{rep} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 19. Incertidumbre por repetibilidad en L1.

Sabiendo que:

S = Desviación típica de la medida dada por la ecuación 20.

U_{rep} = Incertidumbre por repetibilidad de la medida.

n = número de datos tomados, n=4.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{ji} - \bar{F}_j)^2}{n - 1}}$$

Ecuación 20. Desviación típica.

Donde:

F_{ji} = Lectura instrumento

\bar{F}_j = Lectura promedio del instrumento

n = número de datos tomados, n=4

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 17.

8.3.1.3.4. Incertidumbre por la deriva del flexómetro

Para el cálculo de incertidumbre de la deriva, se considera una distribución rectangular, como se indica en la ecuación 21, y el cálculo del valor de la deriva se denota por las ecuaciones 10 y 11.

$$U_{dm} = \frac{\partial_{flexometro}}{\sqrt{3}}$$

Ecuación 21. Cálculo de incertidumbre por deriva flexómetro.

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 17.

8.3.1.4. Incertidumbre por medición de L_2

Para medir la distancia L_2 se utiliza el flexómetro y su cálculo de incertidumbre es igual que la calculada para L_1 , teniendo en cuenta las incertidumbres por el certificado de calibración, la deriva del instrumento, su división de escala, y la repetibilidad de las medidas teniendo en cuenta que se toman 4 medidas en cada punto de calibración.

8.3.1.4.1. Incertidumbre según el certificado de calibración

Teniendo en cuenta la incertidumbre reportada en el certificado de calibración del flexómetro, se toma la ecuación 16.

Su coeficiente de sensibilidad está dado por:

$$\frac{\delta E}{\delta L_2} = - \frac{M * g * L_3 * L_1}{r * L_2^2}$$

Ecuación 22. Coeficiente de sensibilidad para medición de L_2 .

8.3.1.4.2. Incertidumbre por la división de escala del flexómetro

El cálculo de la incertidumbre por la división de escala del flexómetro, y considerando una distribución rectangular, se obtiene de la ecuación 18.

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 22.

8.3.1.4.3. Incertidumbre por repetibilidad de la medida

Para el cálculo de la incertidumbre por repetibilidad de la medida se tiene en cuenta que se toman 4 mediciones de L_2 . Se obtiene de la ecuación 19 y 20 respectivamente.

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 22.

8.3.1.4.4. Incertidumbre por la deriva del flexómetro

Para el cálculo de incertidumbre de la deriva, se considera una distribución rectangular, como se indica en la ecuación 21, y el cálculo del valor de la deriva se denota por las ecuaciones 10 y 11.

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 22.

8.3.1.5. Incertidumbre por medición de L_3

Para medir la distancia L_3 se utiliza el flexómetro y su cálculo de incertidumbre es igual que la calculada para L_1 y L_2 , teniendo en cuenta las incertidumbres por el certificado de calibración, la deriva del instrumento, su división de escala, y la repetibilidad de las medidas teniendo en cuenta que se toman 4 medidas en cada punto de calibración.

8.3.1.5.1. Incertidumbre según el certificado de calibración

Teniendo en cuenta la incertidumbre reportada en el certificado de calibración del flexómetro, se toma la ecuación 16.

Su coeficiente de sensibilidad está dado por:

$$\frac{\delta E}{\delta L_3} = \frac{M * g * L_1}{r * L_2}$$

Ecuación 23. Coeficiente de sensibilidad para medición de L_3 .

8.3.1.5.2. Incertidumbre por la división de escala del flexómetro

El cálculo de la incertidumbre por la división de escala del flexómetro, y considerando una distribución rectangular, se obtiene de la ecuación 18.

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 23.

8.3.1.5.3. Incertidumbre por repetibilidad de la medida

Para el cálculo de la incertidumbre por repetibilidad de la medida se tiene en cuenta que se toman 4 mediciones de L_3 . Se obtiene de la ecuación 19 y 20 respectivamente.

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 23.

8.3.1.5.4. Incertidumbre por la deriva del flexómetro

Para el cálculo de incertidumbre de la deriva, se considera una distribución rectangular, como se indica en la ecuación 21, y el cálculo del valor de la deriva se denota por las ecuaciones 10 y 11.

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 23.

8.3.1.6. Incertidumbre por medición de radio del rodillo

Para obtener el valor del radio r del rodillo del analizador de frenos, se utiliza el circómetro para medir su perímetro, y su contribución de incertidumbre está dada por el certificado de calibración, la deriva del instrumento, su división de escala, y la repetibilidad de las medidas teniendo en cuenta que se toman 4 medidas en cada punto de calibración.

8.3.1.6.1. Incertidumbre según el certificado de calibración

Teniendo en cuenta la incertidumbre reportada en el certificado de calibración del circómetro, se tiene que:

$$U_c = \frac{U_{\text{circometro}}}{K}$$

Ecuación 24. Incertidumbre según el certificado de calibración.

Donde:

U_c = Incertidumbre del flexómetro

$U_{\text{circometro}}$ = Incertidumbre dada por el certificado de calibración

K = Factor de cobertura $K=2$

Su coeficiente de sensibilidad está dado por:

$$\frac{\delta E}{\delta r} = - \frac{M * g * L_1 * L_3}{r^2 * L_2}$$

Ecuación 25. Coeficiente de sensibilidad para medición de r.

8.3.1.6.2. Incertidumbre por la división de escala del circómetro

El cálculo de la incertidumbre por la división de escala del circómetro, y considerando una distribución rectangular, se calcula como lo indica la ecuación 18.

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 25.

8.3.1.6.3. Incertidumbre por repetibilidad de la medida

Para el cálculo de la incertidumbre por repetibilidad de la medida se tiene en cuenta que se toman 4 mediciones del perímetro. Por lo que se calcula como lo indicado en las ecuaciones 19 y 20 respectivamente.

Su coeficiente de sensibilidad está dada por la ecuación 25.

8.3.1.7. Incertidumbre por repetibilidad de las medidas del equipo bajo prueba

Para el cálculo de incertidumbre por repetibilidad de las medidas del equipo bajo prueba, se tiene en cuenta las ecuaciones 19 y 20.

Su coeficiente de sensibilidad es dada por la ecuación 26.

$$\frac{\delta E}{\delta L_i} = 1$$

Ecuación 26. Coeficiente de sensibilidad de repetibilidad.

8.3.1.8. Incertidumbre por resolución del equipo bajo prueba

El cálculo de la incertidumbre por resolución del equipo bajo prueba es dada por la ecuación 18. Y su coeficiente de sensibilidad se obtiene mediante la ecuación 26.

8.3.1.9. Incertidumbre por empuje del aire

Durante el proceso de calibración, es importante controlar las condiciones ambientales que puedan influir directamente las mediciones realizadas, y en caso de no poder controlarlos por factores externos, como es el caso de la incidencia del

viento en la toma de medidas para la calibración de analizadores de frenos, ya que el proceso se realiza en sitio y en la mayor parte de los centros de diagnóstico automotor se observa que sus instalaciones permiten alto flujo de aire; por lo que la incidencia del viento en la calibración es una variable que no se puede controlar, se debe tener en cuenta la incidencia del viento con una contribución de incertidumbre tal que cobije su posible contribución de error.

Calcular para masa patrón de forma normalizada igual que emesas, y calcular para masa no normalizada, es una constante según la guía sim (pg 64), se necesita tipo de materia para saber su densidad.

8.3.1.10. Incertidumbre por histéresis mecánica

La incertidumbre por histéresis mecánica, se considera una distribución rectangular, y se da por la ecuación 28.

$$U_h = \frac{|E_{ascenso} - E_{descenso}|}{2 * \sqrt{3}}$$

Ecuación 28. Incertidumbre por histéresis.

Donde:

U_h = Incertidumbre por histéresis

$E_{ascenso}$ = Error ascenso

$E_{descenso}$ = Error descenso

Y su coeficiente de sensibilidad está dado por la ecuación 29.

$$\frac{\delta E}{\delta L_i} = 1$$

Ecuación 29. Coeficiente de sensibilidad por histéresis mecánica.

8.3.1.11. Incertidumbre típica combinada

Teniendo claras las contribuciones de incertidumbre de cada magnitud física que puede intervenir en el proceso de calibración, procedemos calcular la incertidumbre típica combinada, en la que debemos tener en cuenta las incertidumbres típicas de cada una de las magnitudes y su coeficiente de sensibilidad. Esta incertidumbre se calcula aplicando la ley de propagación de incertidumbres suponiendo que no existe correlación entre variables.

$$U_c^2 = \sum_{i=1}^n [c_i * u_i]^2$$

Ecuación 30. Cálculo incertidumbre típica combinada.

Donde:

U_c = Incertidumbre típica combinada.

C_i = coeficiente de sensibilidad.

U_i = fuente de incertidumbre.

Reemplazando en la ecuación 30 todas las contribuciones de incertidumbre y su respectivo coeficiente de sensibilidad, tenemos que:

$$\begin{aligned}
U_c^2 = & \left(\frac{g * L_1 * L_3}{r * L_2} \right)^2 * \left(\left(\frac{U_{mc1}}{k} \right)^2 + \frac{|E_{mp(n)} - E_{mp(n-1)}|^2}{\sqrt{3}} \right) + \left(\frac{M * L_1 * L_3}{r * L_2} \right)^2 \\
& * \left(\frac{g_0 - g_l}{\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{M * g * L_3}{r * L_2} \right)^2 \\
& * \left(\left(\frac{U_{flexometro}}{K} \right)^2 + \left(\frac{Div.escala}{2 * \sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{ji} - \bar{F}_j)^2}{n-1}}}{\sqrt{n}} \right)^2 \right. \\
& \left. + \left(\frac{\partial_{flexometro}}{\sqrt{3}} \right)^2 \right) + \left(-\frac{M * g * L_3 * L_1}{r * L_2^2} \right)^2 \\
& * \left(\left(\frac{U_{flexometro}}{K} \right)^2 + \left(\frac{Div.escala}{2 * \sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{ji} - \bar{F}_j)^2}{n-1}}}{\sqrt{n}} \right)^2 \right) \\
& \left. + \left(\frac{|E_{mp(n)} - E_{mp(n-1)}|^2}{\sqrt{3}} * \frac{U_c^2}{\sqrt{3}} \right) + \left(-\frac{M * g * L_1 * L_3}{r^2 * L_2} \right)^2 \right) \\
& * \left(\left(\frac{U_{circometro}}{K} \right)^2 + \left(\frac{Div.escala}{2 * \sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{ji} - \bar{F}_j)^2}{n-1}}}{\sqrt{n}} \right)^2 \right) + 1
\end{aligned}$$

$$* \left(\left(\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{ji} - \bar{F}_j)^2}{n-1}}}{\sqrt{n}} \right)^2 + \left(\frac{Div.escala}{2 * \sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{|E_{ascenso} - E_{descenso}|}{2 * \sqrt{3}} \right)^2 \right)$$

Ecuación 31. Despeje de cálculo incertidumbre típica combinada.

8.3.1.12. Cálculo de incertidumbre expandida

La incertidumbre expandida se obtiene a partir de la multiplicación de la incertidumbre típica combinada por un factor de cobertura K. En el proceso de calibración se considera $n < 10$, se debe realizar el cálculo de los grados efectivos de libertad, conforme con GTC-51 1997-11-26, para obtener una probabilidad de cobertura del 95%.

$$V_{ef} = \frac{U_{(y)}^4}{\sum_{i=1}^n \frac{U_{i(y)}^4}{V_i}}$$

Ecuación 32. Grados efectivos de libertad.

Donde $V_i = n-1$ para magnitud tipo A, y para magnitud tipo Bn $V_i = \infty$

Luego de obtener los grados efectivos de libertad, se compara el resultado obtenido, con el valor de 95,45% en la tabla 5, y se obtiene el valor de K.

Luego de obtener el valor de K, se procede a realizar el cálculo de la incertidumbre expandida, como se denota en la ecuación 33.

$$U = U_{c(y)} * K$$

Ecuación 33. Cálculo de la incertidumbre expandida.

Tabla 5. Selección del valor de K.

Grados de libertad	Fracción p (%)						
	ν	68,27 ^{a)}	90	95	95,45 ^{a)}	99	99,73 ^{a)}
1		1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,80
2		1,32	2,92	4,30	4,55	9,92	19,21
3		1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4		1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5		1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
6		1,09	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
7		1,08	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
8		1,07	1,86	2,31	2,37	3,36	4,28
9		1,06	1,83	2,26	2,32	3,25	4,09
10		1,05	1,81	2,23	2,28	3,17	3,96
11		1,05	1,80	2,20	2,25	3,11	3,85
12		1,04	1,78	2,18	2,23	3,05	3,76
13		1,04	1,77	2,16	2,21	3,01	3,69
14		1,04	1,76	2,14	2,20	2,98	3,64
15		1,03	1,75	2,13	2,18	2,95	3,59
16		1,03	1,75	2,12	2,17	2,92	3,54
17		1,03	1,74	2,11	2,16	2,90	3,51
18		1,03	1,73	2,10	2,15	2,88	3,48
19		1,03	1,73	2,09	2,14	2,86	3,45
20		1,03	1,72	2,09	2,13	2,85	3,42
25		1,02	1,71	2,06	2,11	2,79	3,33
30		1,02	1,70	2,04	2,09	2,75	3,27
35		1,01	1,70	2,03	2,07	2,72	3,23
40		1,01	1,68	2,02	2,06	2,70	3,20
45		1,01	1,68	2,01	2,06	2,69	3,18
50		1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100		1,005	1,660	1,984	2,025	2,626	3,077
∞		1,000	1,645	1,960	2,000	2,576	3,000

Fuente: (Especialistas en Metrología S.A.S., 2014)

8.3.2. Prueba de reproducibilidad y repetibilidad.

En éste estudio, se realiza la calibración en distintas condiciones de trabajo, variando el equipo a calibrar y las personas que realizan el trabajo, y realizando las mismas mediciones, para establecer el nivel de variación que representa cada caso con respecto a las variaciones y especificaciones del proceso.

Para el análisis nos basamos en el método del rango (método corto), donde generalmente se usan 5 piezas (equipos calibrados en el mismo punto), y 2 operadores. Lo que permite una aproximación en la evaluación de la repetibilidad y producibilidad, y nos permite estimar la variabilidad con la que contribuye el proceso de medición (pulido).

Para el ejercicio, realizamos las mediciones en 5 analizadores de frenos distintos (2 analizadores de frenos de motos, 2 analizadores de frenos de livianos, y 1 analizador de frenos mixto), las mediciones se realizaron en los centros de diagnóstico diésel full & cia Ltda y cda del eje cafetero, y las medidas fueron tomadas por los estudiantes Juan David Sánchez y Estiven Andres Sanabria en los mismos puntos de calibración. Los datos obtenidos se indican en la tabla 6.

Tabla 6. Datos obtenidos en [N].

1	2551	2556	5
2	2541	2548	7
3	2543	2546	3
4	2553	2556	3
5	2544	2541	3
Rango promedio			4,2

Donde:

Pieza 1. Cda eje cafetero, analizador de frenos motos

Pieza 2. Cda eje cafetero, analizador de frenos mixto

Pieza 3. Cda eje cafetero, analizador de frenos Livianos

Pieza 4. Cda diésel full & cia, analizador de frenos Livianos

Pieza 5. Cda diésel full & cia, analizador de frenos motos

Para calcular la expansión del error de medición (EM), se debe multiplicar 5.15 veces la desviación estándar del error de medición, como se indica en la ecuación 34.

$$EM = 5.15 * \hat{\sigma}_{R\&R}$$

Ecuación 34. Expansión del error de medición.

Donde:

$\hat{\sigma}_{R\&R}$ = Desviación estándar del error de medición.

Y sabemos que:

$$\hat{\sigma}_{R\&R} = \frac{k_2}{5.15} \times \bar{R}$$

Ecuación 35. Cálculo de desviación estándar del error de medición.

K_2 se obtiene a partir del número de partes y operadores que intervienen en la prueba, para éste caso $K_2 = 4,33$. Y \bar{R} es el rango promedio de los datos ($\bar{R}=4,2$).

Reemplazando ecuación 35 en la ecuación 34, tenemos que:

$$EM = K_2 \times \bar{R}$$

Ecuación 35. Expansión del error de medición.

Reemplazando los valor correspondientes, tenemos que $EM = 18.186$.

El índice *precisión/tolerancia*, se calcula según la ecuación 36.

$$P/T = \frac{EM}{Es - El} \times 100\%$$

Ecuación 36. Índice de precisión/tolerancia.

Es-El, es la tolerancia de la medición, que para los analizadores de frenos, que según (Norma Técnica Colombiana, 2010), el error máximo permisible debe ser del 3% del rango en Full Escala. El punto patrón para el ejercicio fue de 2550 [N], por lo tanto, su tolerancia es de, 2550 ± 76.5 [N], donde:

$$\begin{array}{ll} Es = 2626.5 \text{ [N]} & 2601-2\% \\ El = 2473.5 \text{ [N]} & 2499-2\% \end{array}$$

Despejando, tenemos que:

$$P/T = \frac{18,186}{2626,5 - 2473,5} \times 100\%$$

$$P/T = 11,88\%$$

Los criterios de aceptación para los resultados según (pulido), son los siguientes:

- Abajo de 10% → Excelente proceso.
- De 10 a 20% → Bueno, aceptable.
- De 20 a 30% → Marginalmente aceptable.
- Arriba de 30% → Inaceptable y debe ser corregido.

Como $10\% < P/T < 20\%$, se puede hacer la observación de que el proceso es bueno, aceptable.

8.4. Validar sistema de generación de fuerza

8.4.1. Inter-comparación contra un sistema de generación de fuerza

Para el estudio de inter-comparación contra un sistema de generación de fuerza, se realiza el proceso con la palanca patrón de Especialistas en Metrología S.A.S. teniendo en cuenta que se encuentra acreditado frente al organismo nacional de acreditación de Colombia, por lo tanto se considera como un patrón de referencia. Lo que nos facilita la práctica, ya que el proceso se basa en el método E_n , que nos dice que para inter-comparar un material de referencia con nuestro patrón se debe aplicar la ecuación 34, como lo indica (Icontec, 2010).

$$E_n = \frac{X - x}{\sqrt{U_{ref}^2 + U_{pract}^2}}$$

Ecuación 34. Relación para la inter-comparación.

Donde:

X = Lectura del equipo bajo prueba con el patrón de referencia.

x = Lectura del equipo bajo prueba con el patrón a inter-comparar.

U_{ref} = Incertidumbre de la medida de referencia.

U_{pract} = Incertidumbre de la medida a inter-comparar.

Para la evaluación del desempeño por el método empleado, se dice que:

$|E_n| \leq 1$ Para un desempeño "satisfactorio"

$|E_n| > 1$ Para un desempeño "insatisfactorio"

Para el análisis de la prueba, realizamos las medidas en 4 puntos de calibración (1032 N, 2068 N, 3110 N, 4155 N), los cuales los tomamos en distribución equitativa para el rango de calibración empleado por Especialistas En Metrología S.A.S., y realizamos las mediciones con las dos barras patrones en el mismo equipo y mismo punto de calibración, como lo indica la tabla 4.

Tabla 7. Resultados de las medidas en los puntos de calibración.

Punto de calibración	Lectura X (N)	U _{ref} (N)	Lectura x (N)	U _{pract} (N)	E _n
1	1021	+ - 13	1009	+ - 10	0,73
2	2070	+ - 26	2045	+ - 23	0,72
3	3111	+ - 39	3121	+ - 34	-0,19
4	4156	+ - 53	4111	+ - 46	0,64

8.5. Análisis de resultados

Con las pruebas obtenidas de repetibilidad y reproducibilidad, cuyo resultado fue del 11,88%, y los criterios de aceptación de (*pulido*), que indican que el resultado debe estar entre el (10 a 20) %, para obtener una medida buena, aceptable. Por lo tanto podemos denotar que nuestra medida con la barra de calibración diseñada asegura una medida repetible y reproducible.

Para la prueba de inter-comparación, se obtuvieron los resultados indicados en la tabla 4, mostrando que en el rango de calibración, la comparación con la barra de calibración patrón de Especialistas En Metrología S.A.S. utilizando el método E_n, obtiene valores satisfactorios (<1), por lo tanto, podemos decir que la barra patrón diseñada cumple con el criterio y puede ser empleada como patrón de referencia.

8.5.1. Evidencias

Como se enuncia en el transcurso del documento, se realizó la construcción y pruebas pertinentes de la palanca de calibración, como se puede evidenciar en las figuras 8 a la 12.

Figura 8. Vista en diagonal de la palanca de calibración con masa de 10 kg

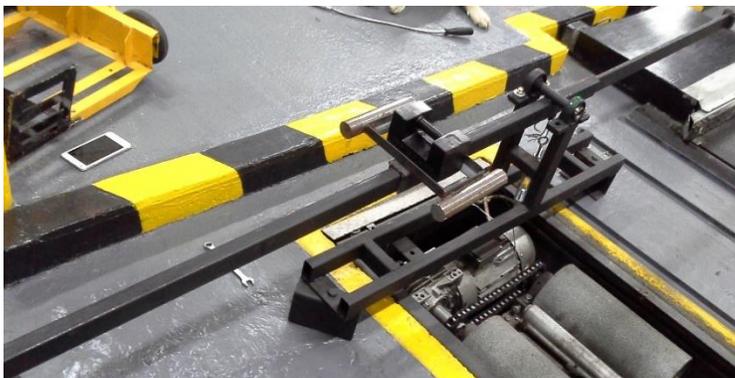


Figura 9. Vista de perfil de la palanca de calibración con masa de 10 kg

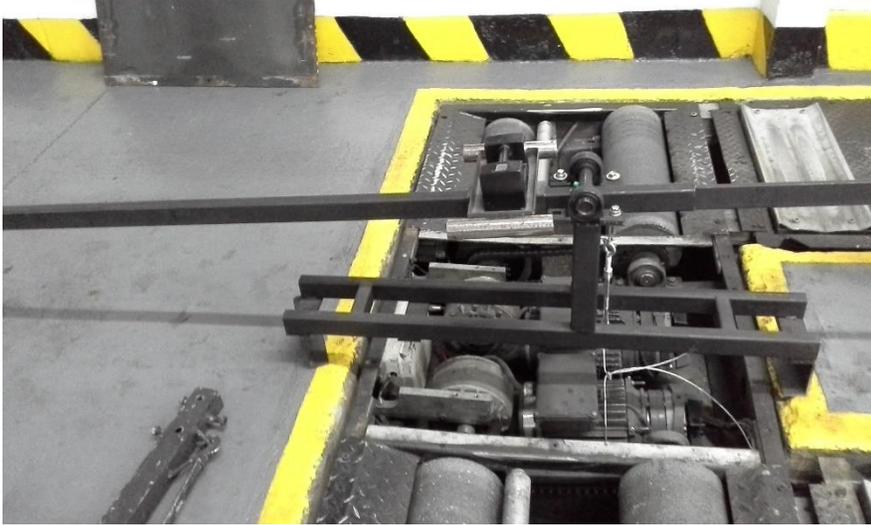


Figura 10. Vista de perfil con ángulo de inclinación.



Figura 11. Palanca de calibración de Especialistas en Metrología S.A.S.

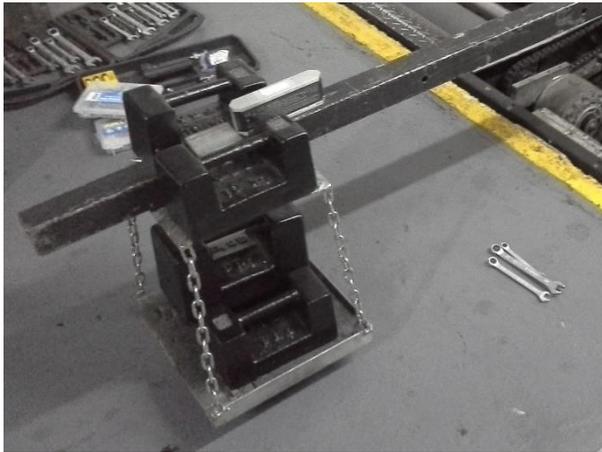
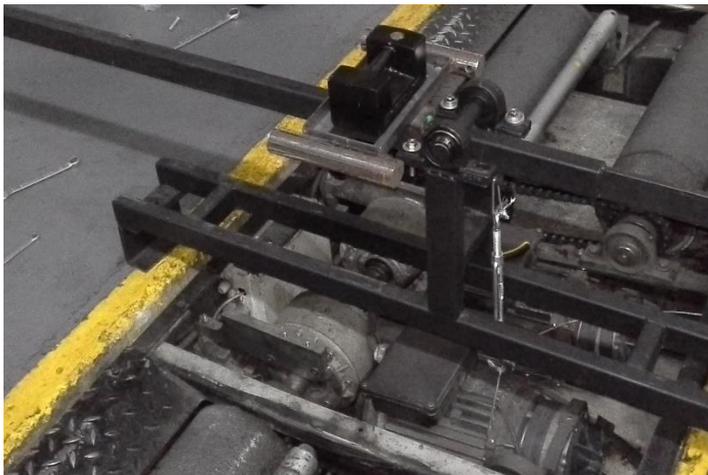


Figura 12. Palanca diseñada, con masa de 10 kg y nivelada.



8.6. Procedimiento de calibración

La calibración/verificación del analizador de frenos, se realiza con el método de transferencia de par torsional con instrumento patrón para generación de par torsional de doble palanca con masa corrediza mostrado en la figura 12. La ecuación que rige el proceso es la ecuación 5.

Los equipos a utilizar para realizar el proceso son:

8.6.1. Cinta métrica Flexible (circómetro):

Se utiliza para la medición del perímetro o diámetro del rodillo del frenómetro a calibrar.

8.6.2. Cinta métrica (3 m):

Se utiliza para medir las longitudes L1, L2, L3.

8.6.3. Palanca de calibración:

Instrumento para generación de par torsional. Figura 10.

8.6.4. Masa patrón:

Masa patrón al ser ubicadas a una longitud conocida en la palanca generan un par torsional. Se utilizan masas clase M3.

8.6.5. Nivel digital:

Instrumento utilizado para nivelar a 0° o valor cercano la barra de calibración.

8.6.6. Termohigrómetro digital

Instrumento utilizado para la medición de las condiciones ambientales del sitio de calibración y/o verificación. Este equipo debe estar calibrado y se debe conocer su corrección.

Las operaciones previas a tener en cuenta, es verificar el rango de calibración del equipo, y posteriormente comprobar su funcionamiento y estado de operación.

Para la instalación de la palanca, se debe fijar firmemente la guaya al punto opuesto que va sujeta la celda de carga del analizador de frenos, y engancharla al tensor que va conectado al punto L2. Al posicionar la masa a la distancia L1, se debe nivelar la palanca de calibración utilizando el nivel digital y el tensor. Como se indica en la figura 12.

9. CONCLUSIONES

- La herramienta de Autodesk Inventor para el diseño de la palanca de calibración, es apropiada para el proceso, ya que nos ilustra de manera eficaz el mecanismo final.
- Diseñar un sistema corredizo para la ubicación de la masa patrón, es de gran eficacia, puesto que podemos obtener cualquier valor de fuerza, siempre y cuando ésta se encuentre dentro del rango de la palanca de calibración, y modificar la palanca simple a doble palanca, resulta ser más práctica a la hora de la instalación en el frenómetro.
- Aplicar los criterios de aceptación de (*pulido*), para la prueba repetibilidad y reproducibilidad nos arroja resultados contundentes para el análisis de manera rápida y de sencilla interpretación.
- El método E_n para la inter-comparación entre la palanca de calibración de Especialistas en Metrología S.A.S. y la palanca diseñada, resulta muy práctica, ya que establece el rango aceptable de desempeño, que además nos muestra la desviación obtenida con respecto al patrón, y deja paso para una posible investigación sobre las mejoras del proceso.
- Realizar procedimientos de calibración, resulta útil para las personas que desean implementar el desarrollo de la calibración/verificación, y cumplir a cabalidad con los objetivos de la misma sin tener conocimientos previos del proceso.

RECOMENDACIONES

- Establecer el rango límite de calibración de cada tipo de analizador de frenos para evitar sobre pasar los límites de la celda de carga del equipo, o no cubrir el rango de operación del mismo.
- Tener presente en todo momento la forma en que se acciona el frenómetro para realizar la correcta instalación de la palanca de calibración.
- Al realizar el montaje de la palanca de calibración, asegurarse de entrar en el software del analizador de frenos de manera correcta y evitar accionar los rodillos del equipo para no ocasionar lesiones físicas al operador y/o daños al equipo de referencia.
- Asegurarse en el transporte de los equipos al centro de diagnóstico automotor, la correcta manipulación y empaque para evitar golpes a los patrones, ya que pequeñas fluctuaciones en el valor convencional de la masa patrón puede ocasionar medidas erróneas o incremento en la incertidumbre de medida.
- Capacitar de forma adecuada al personal que manipula los ítems para asegurar una medida confiable y garantizar que el proceso se realice de manera exitosa.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Especialistas en Metrología S.A.S. (2014). *Calibración - Verificación de Frenómetros de Rodilo*. Pereira.
- France, A. D. (1991). *England Patente nº 5.172.423*.
- Histron. (s.f.). <http://www.histron.com>. Obtenido de <http://www.histron.com: http://www.histron.com/index.php/es/revisionestecnicas/106-frenometros/140-max1>
- Icontec. (2010). *Evaluacion de la conformidad. Requisitos generales para los ensayos de aptitud*. Bogotá: Icontec.
- Icontec. (2014). *icontec.org*. Obtenido de <http://icontec.org/index.php/es/inicio/metrologia>
- Instituto Nacional de Metrología. (2008). <http://www.inti.gob.ar>. Obtenido de http://www.inti.gob.ar: http://www.inti.gob.ar/patrones_nacionales/pdf/VIM_enespanol.pdf
- internacional, I. (20 de 06 de 2012). NTC-ISO_IEC 17020. *Evaluación de la conformidad. Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de organismos que realizan la inspección*. Icontec.
- Kail, J. H. (1961). *Denver, Colorado Patente nº 3.154.625*.
- Knipe, R., Jennings, D., Backes, G., Titus, B., & Johnson, K. (s.f.). *Sourcing High Quality Beef: The Retailers Guide*. Illinois: University of Illinois Extension.
- laboratorio de metrología Metas S.A. (s.f.). Aceleración de la gravedad. *La guía metas*.
- MOTORSCAN. (2005). *Service Manual*.
- Norma Española. (2007). *UNE 82502*. Madrid: Aenor.
- Norma Técnica Colombiana. (2010). *NTC 5375*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Norma Técnica Colombiana. (01 de febrero de 2010). *NTC 5385*. Icontec. Obtenido de <http://www.datasheetcatalog.org: http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/humirel/HS1100.pdf>
- Norma Técnica Colombiana. (2010). *NTC 5385*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- pulido, H. g. (s.f.). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. Mexico: Mc Graw Hill Educación.
- Rodriguez, A. R. (2013). *ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE UN FRENÓMETRO*. Madrid.
- Sánchez, P. R. (2009). *VALIDACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA CALIBRACIÓN DE FRENÓMETROS PARA MOTOCICLETAS Y PARA VEHÍCULOS LIVIANOS*. San Jose, Costa Rica.
- Sifredo j. Sáez Ruiz, L. F. (2001). *Incertidumbre de la medición: Teoría y Práctica*. Maracay: Consultores C.A.
- Tatum, D. (2007). *Beef Grading*. Collins, Colorado: Departament of Animal Science, Colorado State University.

Valdés Pérez, D. (26 de Octubre de 2007). *Maestro Del Web*. Recuperado el 15 de Octubre de 2013, de <http://www.maestrosdelweb.com/editorial/%C2%BFque-son-las-bases-de-datos/>