

**Caracterización del Sistema Híbrido de Par
Torsional de 1 kN·m fabricado en CENAM para
Volkswagen de México, S.A. de C.V.**

*¹D. Ramírez-Ahedo, ¹J. C. Torres-Guzmán
²M. Hernández-Rivas, ²A. Castillo-Medina, ²G. Gamboa-Hernández*

Querétaro, 23 de Octubre 2008

Contenido

Resumen.

1. Introducción.

2. Actividades Desarrolladas.

3. Resultados.

4. Discusión.

5. Conclusiones y Recomendaciones.

Resumen

✓ La caracterización de sistemas de medición para diseminar una magnitud con los niveles adecuados de exactitud e incertidumbre, es una actividad metrológica necesaria para la confiabilidad en las mediciones de los laboratorios de metrología.

✓ La construcción de un patrón de medición de par torsional realizada por personal de CENAM, tiene su origen en la detección de una necesidad en la planta automotriz Volkswagen de México, S.A. de C.V.

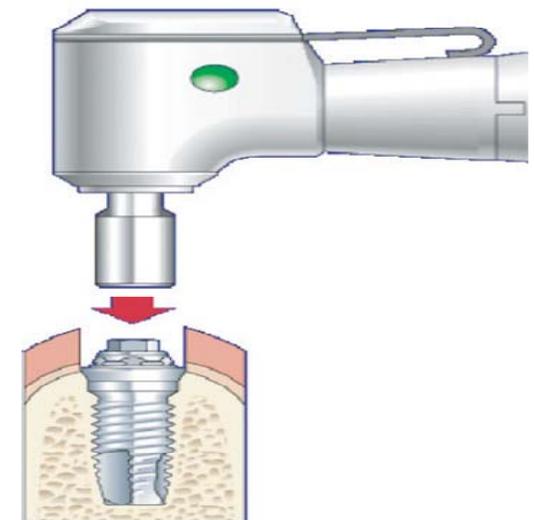
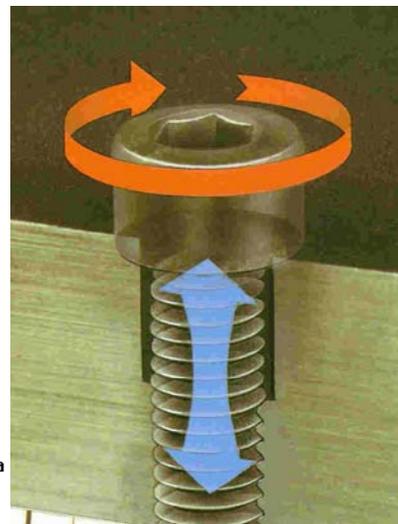
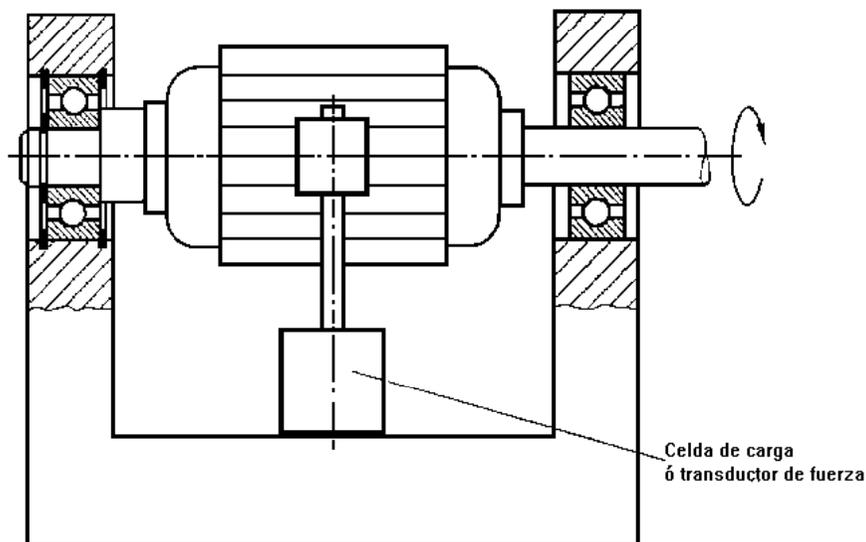
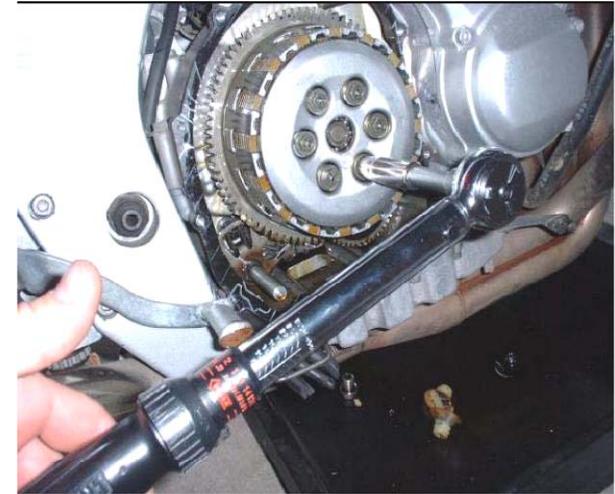
✓ El diseño, construcción y puesta en operación se llevó a cabo mediante varias etapas de asesoría realizadas por personal de la División de Metrología de Fuerza y Presión del CENAM, específicamente de la especialidad de Fuerza y Par Torsional.

✓ En este documento se presenta la caracterización del “Sistema Híbrido de Medición de Par Torsional SHPT-VW- 1 kN·m” y la declaración de su capacidad de medición.

✓ Se comentan las principales fuentes de incertidumbre y su contribución en la generación (método primario) o diseminación (método de transferencia) del par torsional.

1. Introducción

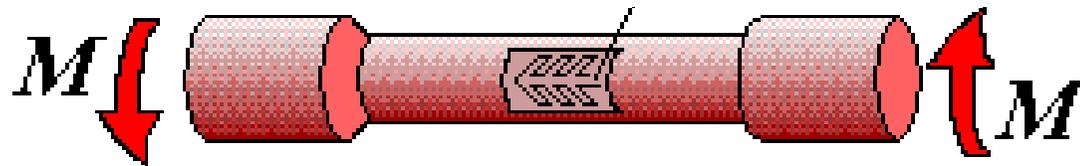
El par torsional es utilizado en muchos procesos industriales, por ejemplo en la industria automotriz para asegurar las tuercas en rines de automóviles o bien en el ajuste de las “cabezas” de un motor.



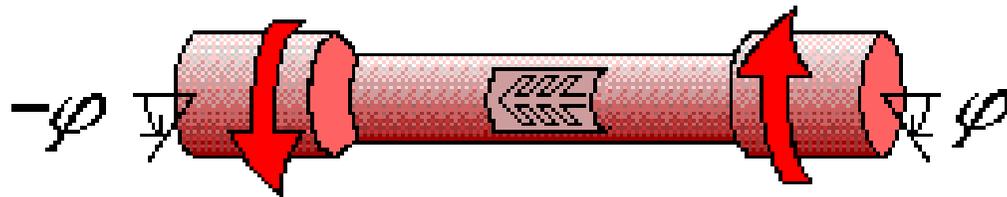
El Par torsional es utilizado también para:

- ✓ Medir la potencia en motores eléctricos;
- ✓ Pruebas en ensambles de piezas;
- ✓ Medir el apriete de las tapas en los frascos de tabletas medicinales;
- ✓ Medir el par de torsión en la salida de un eje conectado a rotores en máquinas;
- ✓ La realización de pruebas, experimentación e investigación.

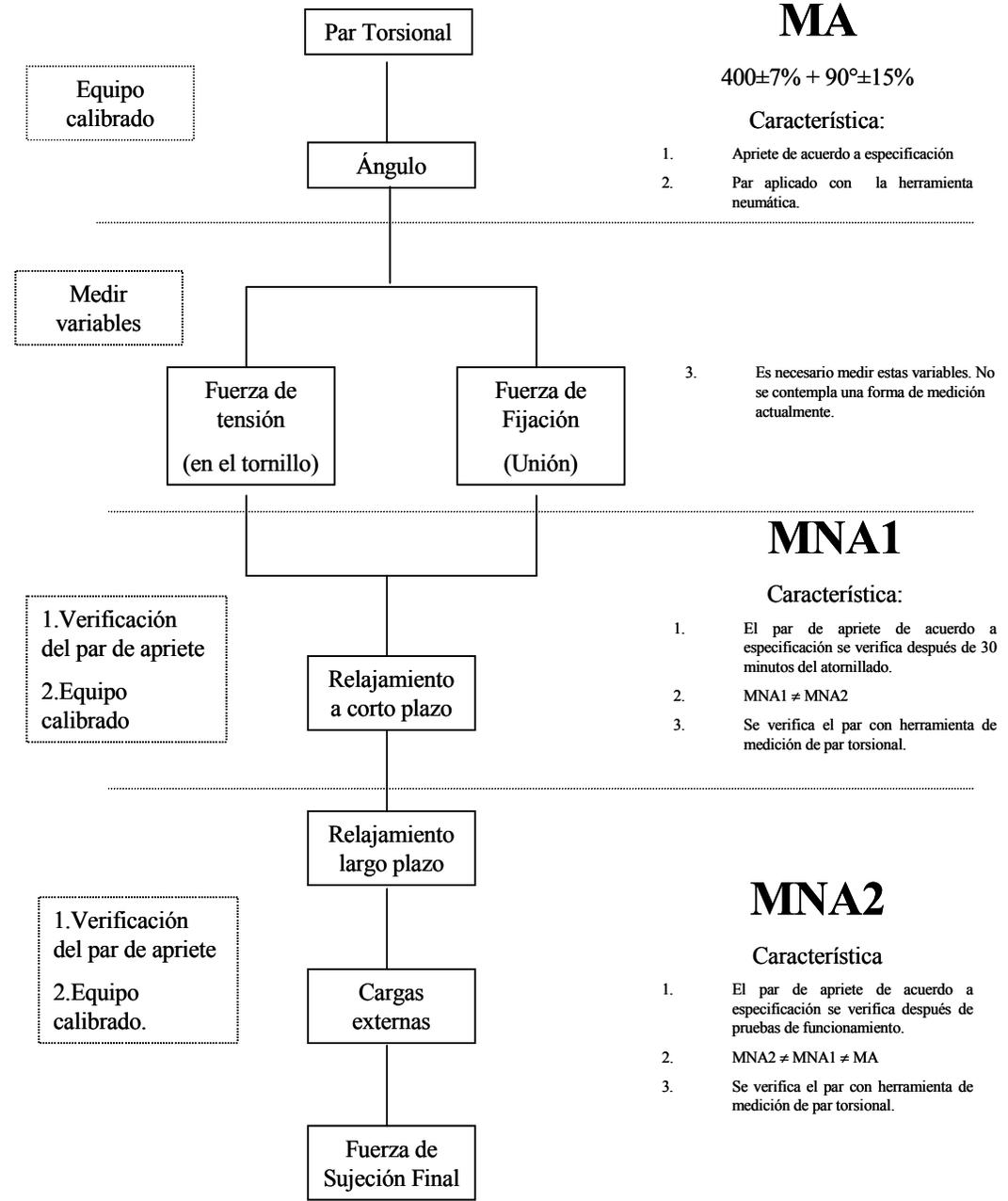
Aunque el par torsional difiere en la forma de generar una fuerza axial (tracción o compresión), la cantidad de par torsional es crítico en la pieza ensamblada.

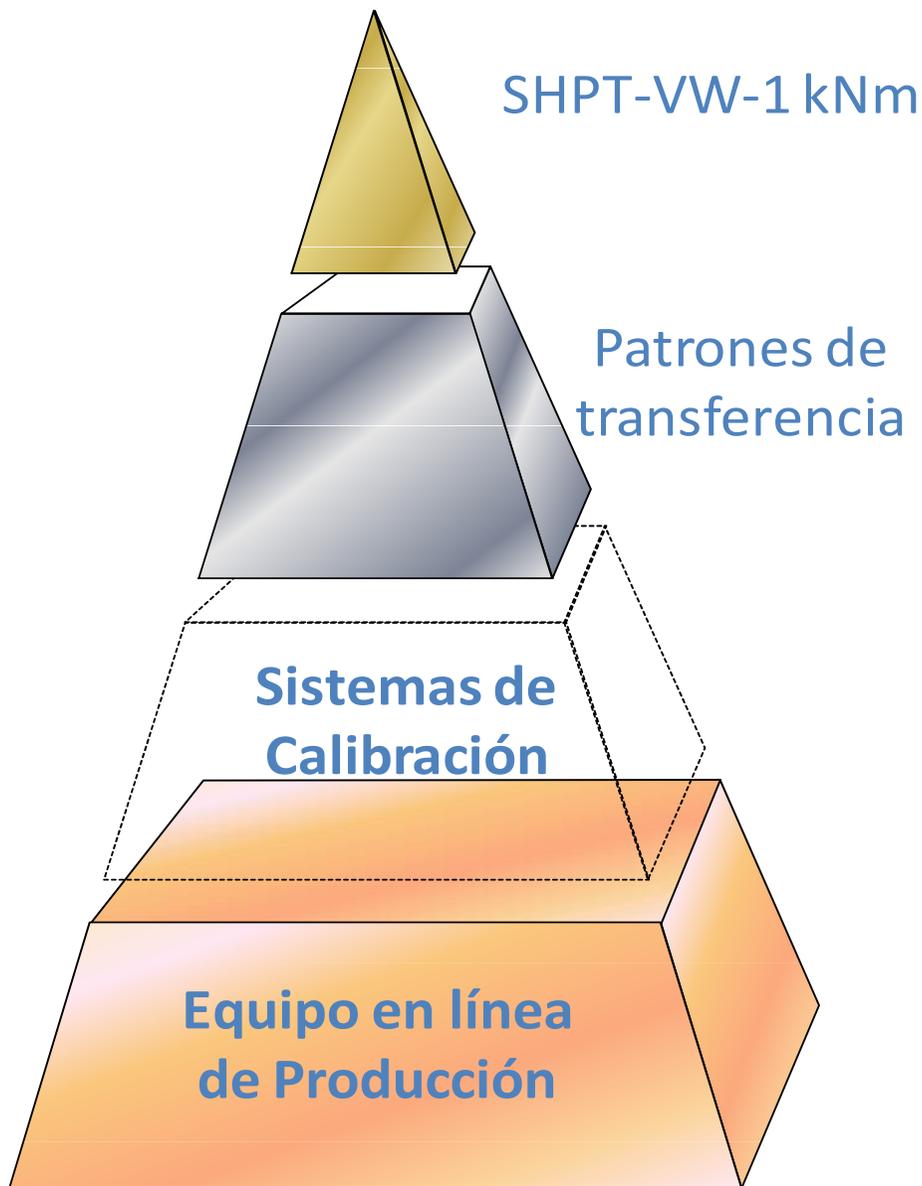


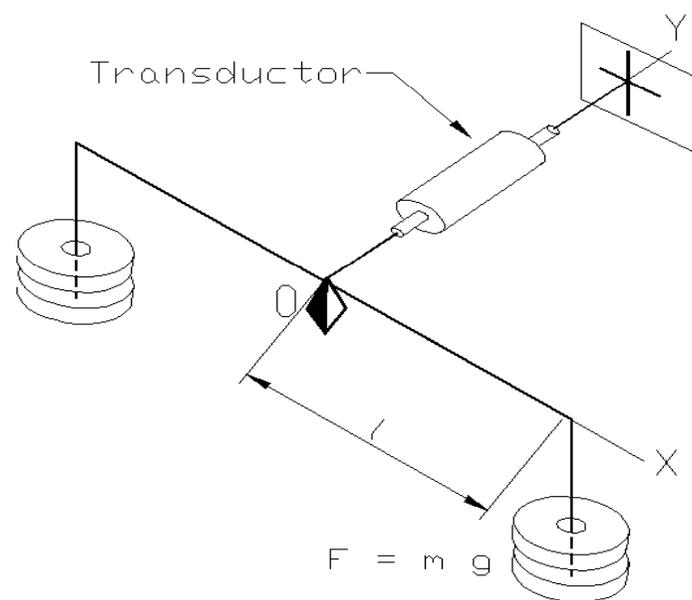
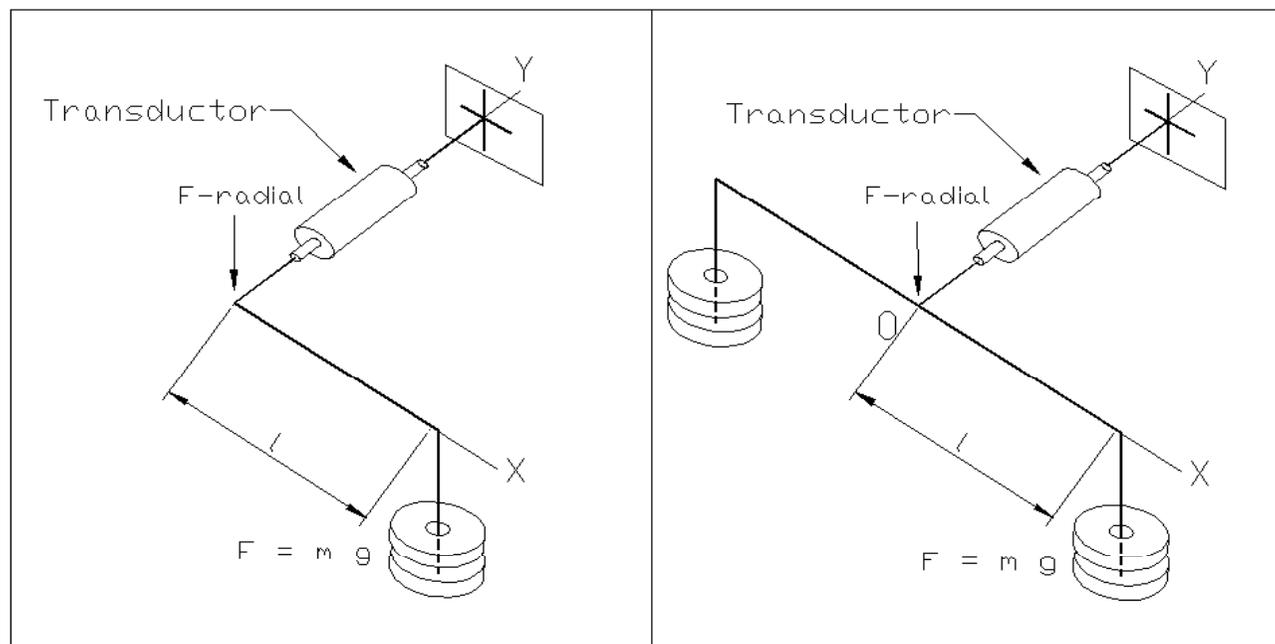
$$M \Rightarrow \varepsilon \Rightarrow \Delta R \Rightarrow \Delta U$$

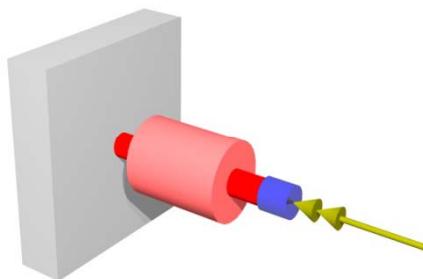
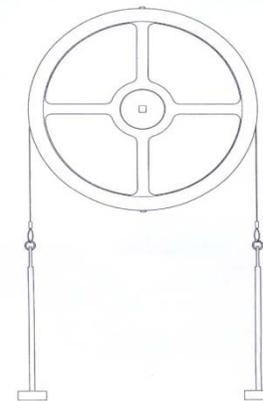
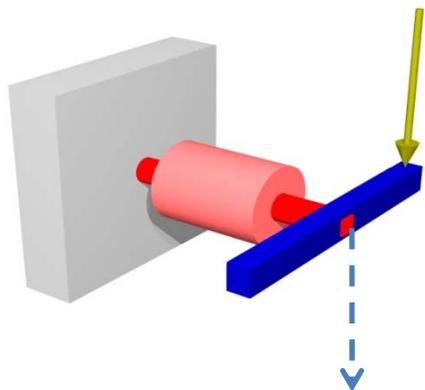


En el caso particular del área PPA, el par torsional de apriete en ensamble de componentes del automóvil, debe ser aplicado bajo especificaciones internas y verificado en varias etapas posteriores como se muestra en la figura siguiente.

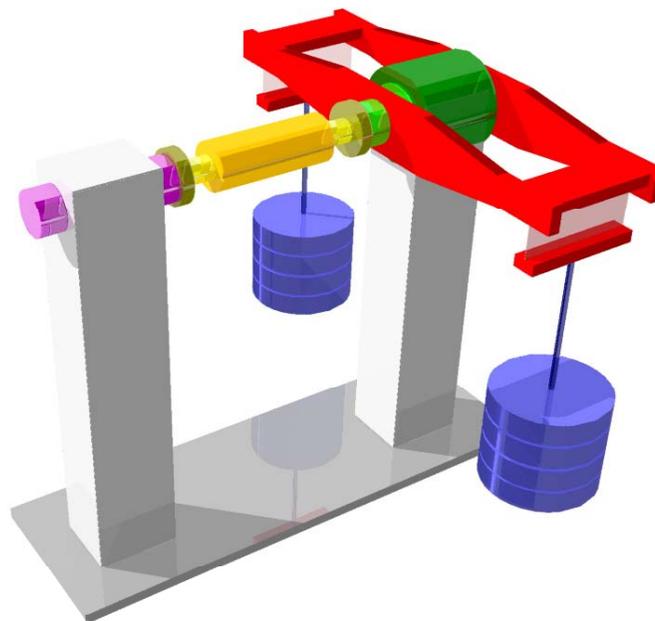


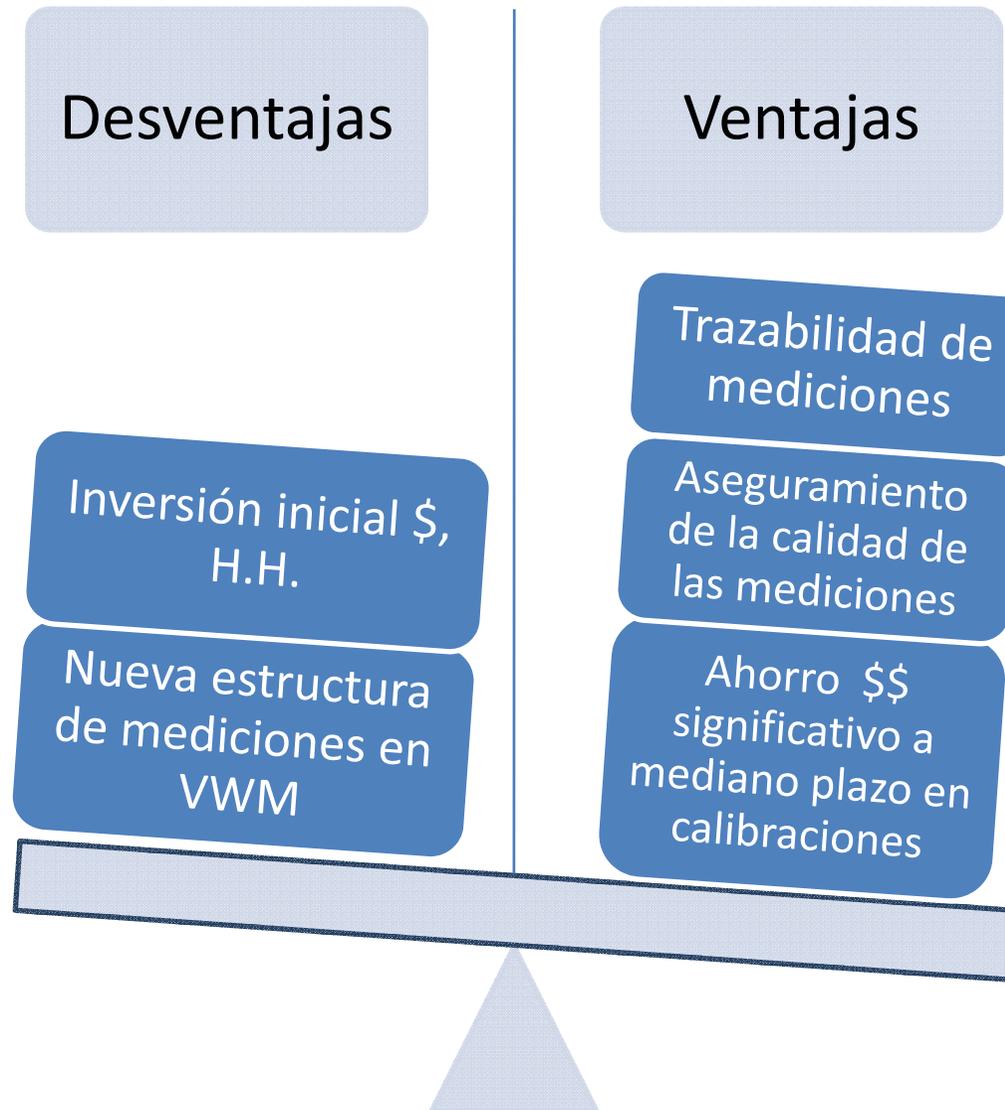






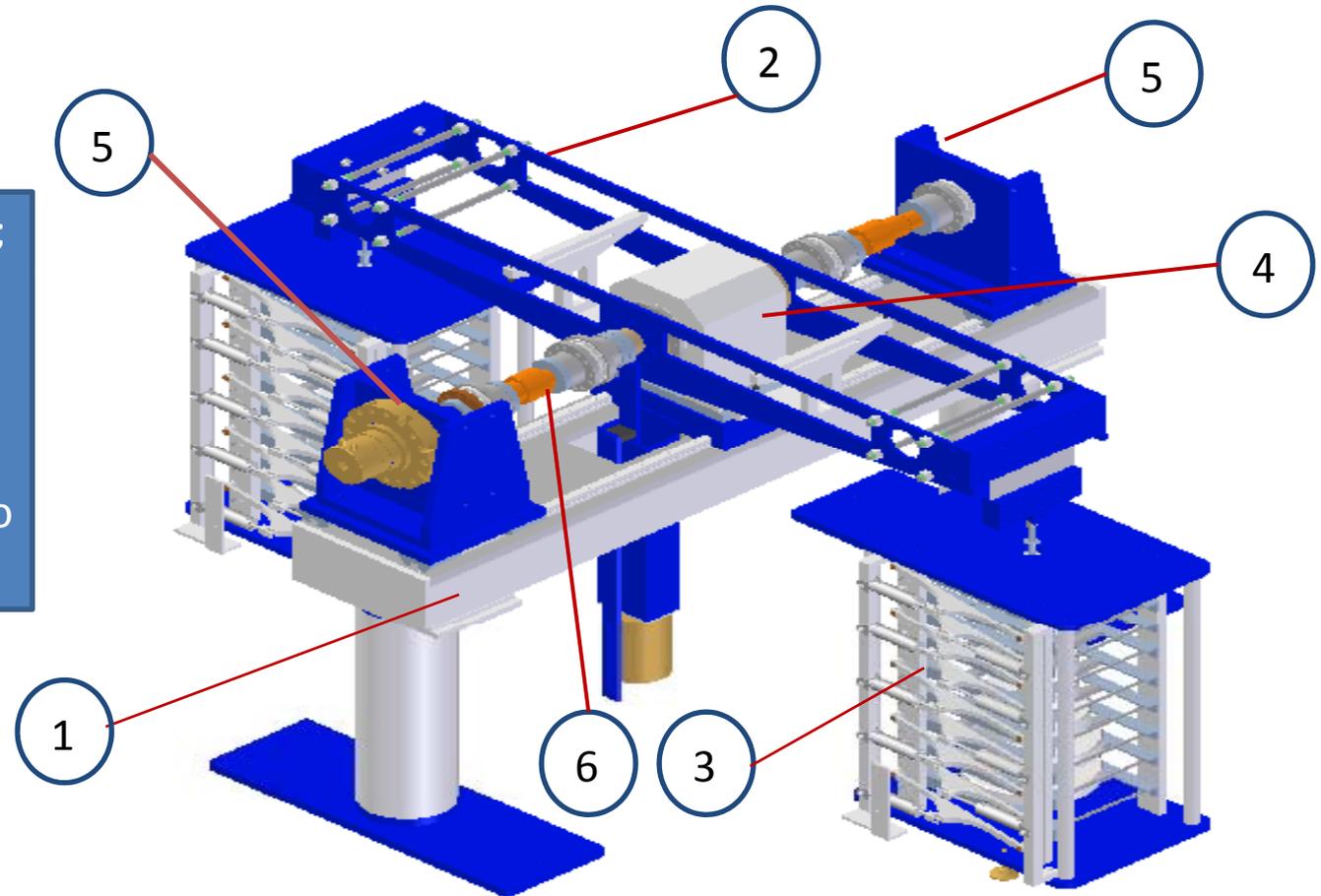
o.k.





CENAM inició la construcción de un sistema híbrido de medición de par torsional

- 1) Estructura principal;
- 2) Brazo de palanca;
- 3) Sistema de masas;
- 4) Cojinete de aire;
- 5) Contra reacción;
- 6) Transductores bajo calibración.



2. Actividades Desarrolladas.

IMEKO 20th TC3, 3rd TC16 and 1st TC22 International Conference
Cultivating metrological knowledge
27th to 30th November, 2007. Merida, Mexico.

**Hybrid torque standard machine for 1 kN·m
developed in CENAM.**

D. Ramirez-Ahedo, J. C. Torres-Guzman, F. Martinez-Juarez
Centro Nacional de Metrología (CENAM, Mexico).

Mérida Yucatán, Noviembre de 2007

Método Primario

El sistema en este modo incluye:

- Una estructura principal;
- Un conjunto de brazo de palanca;
- Un conjunto de pesas;
- Un cojinete de aire usado como apoyo de los brazos de palanca;
- Un servomotor que actúa como contra reacción.

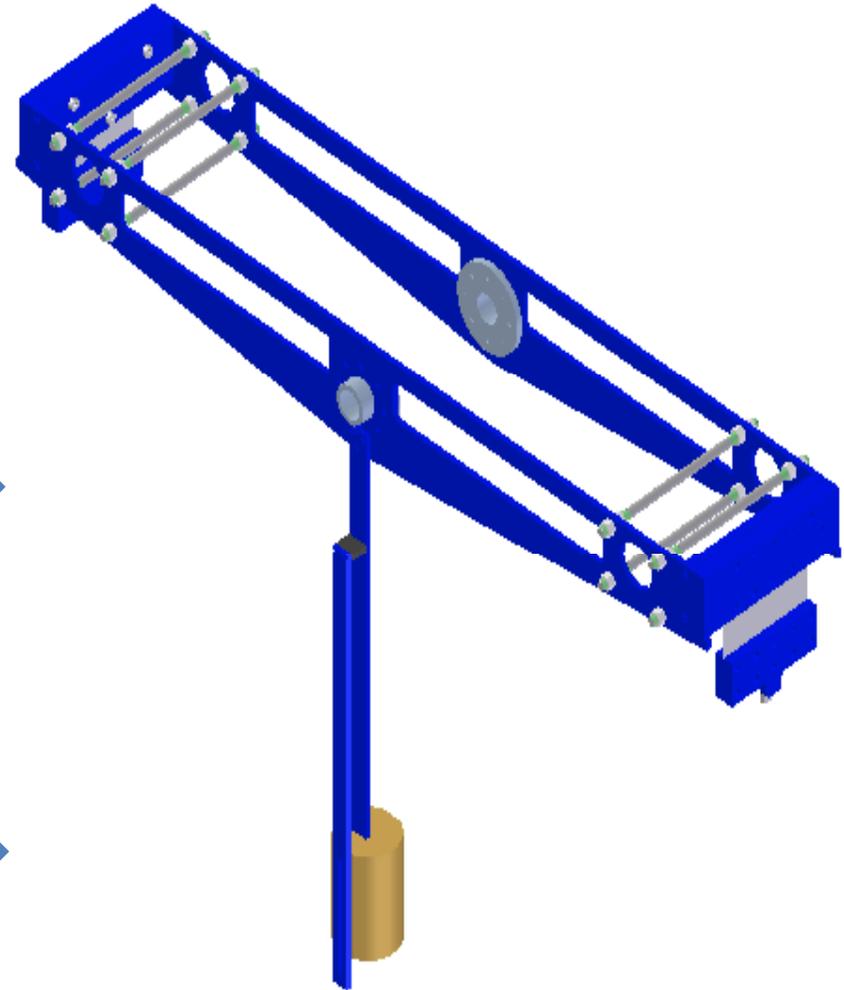


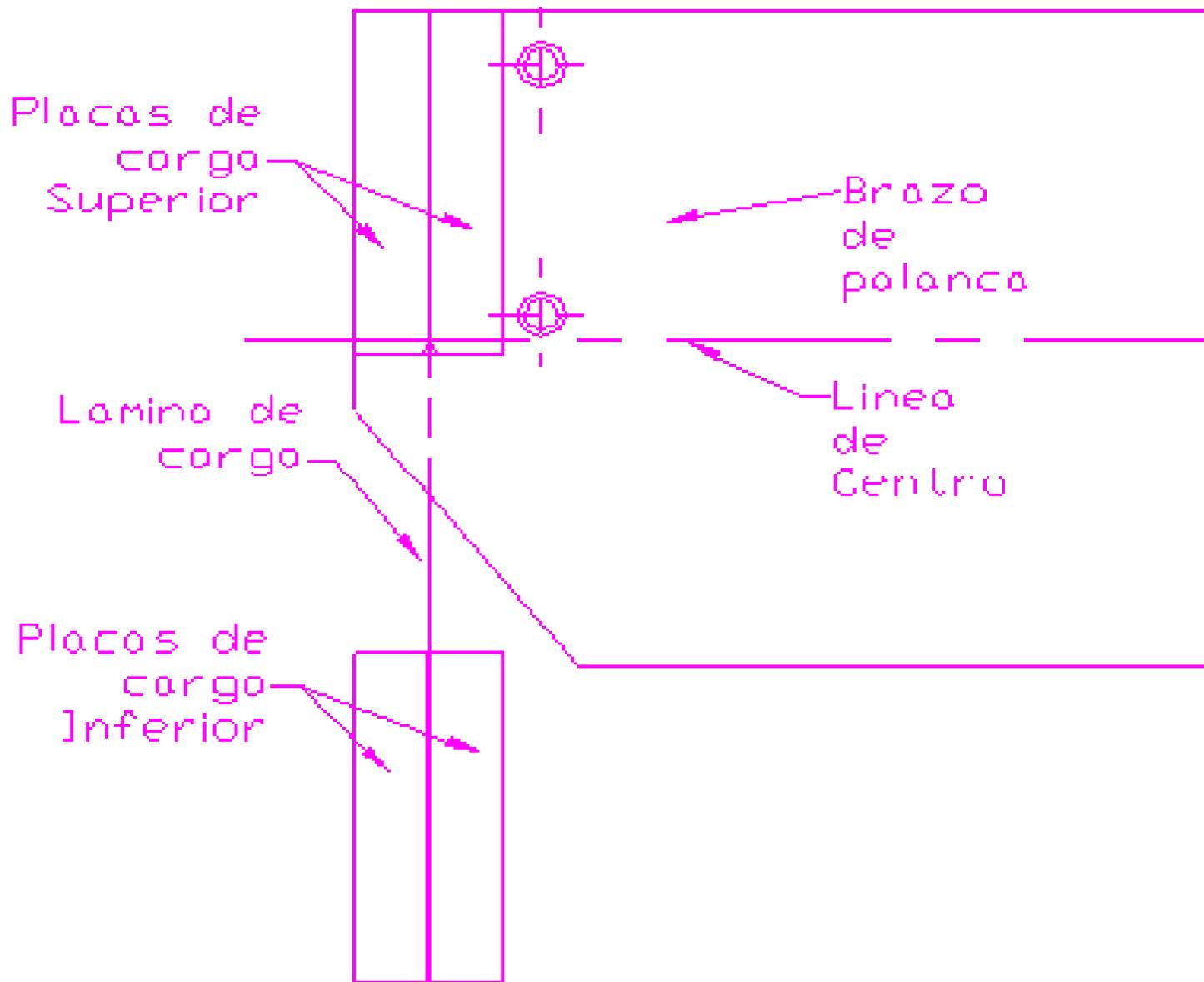
Un sistema de brazo de palanca

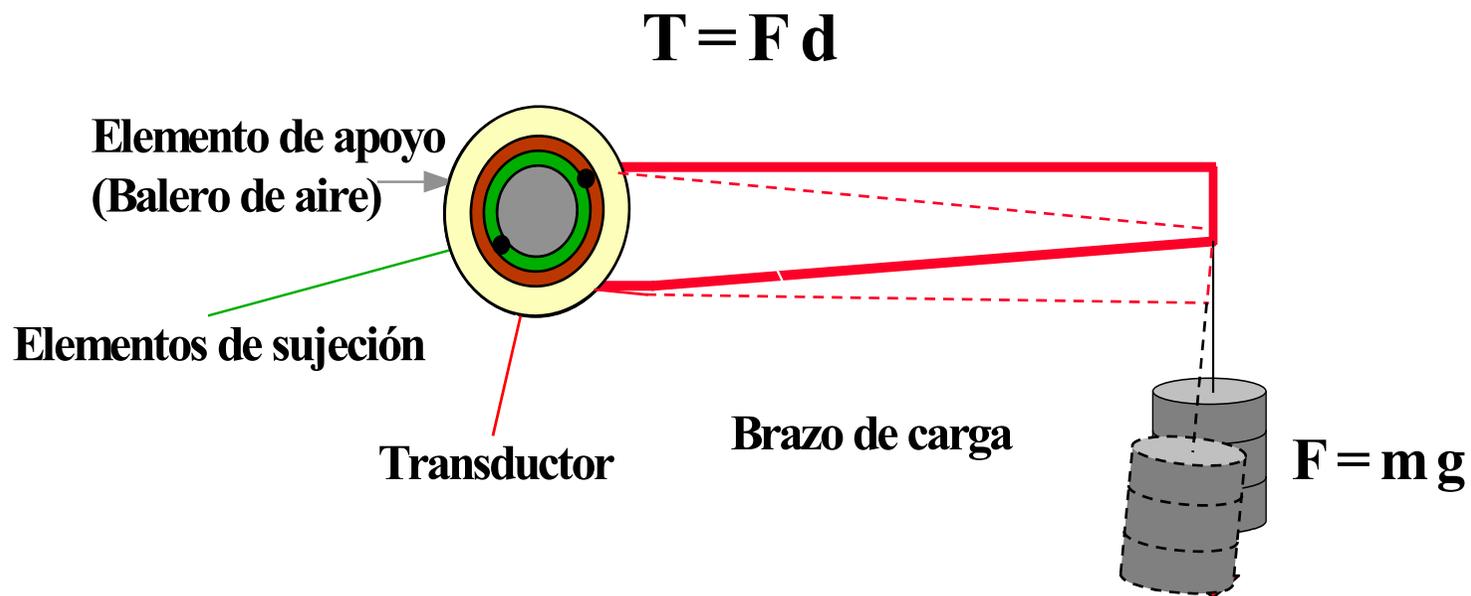
2 placas maquinadas y paralelas de 2 m de longitud.

La fuerza se introduce en el brazo de palanca a través de bandas metálicas de 25 μm espesor.

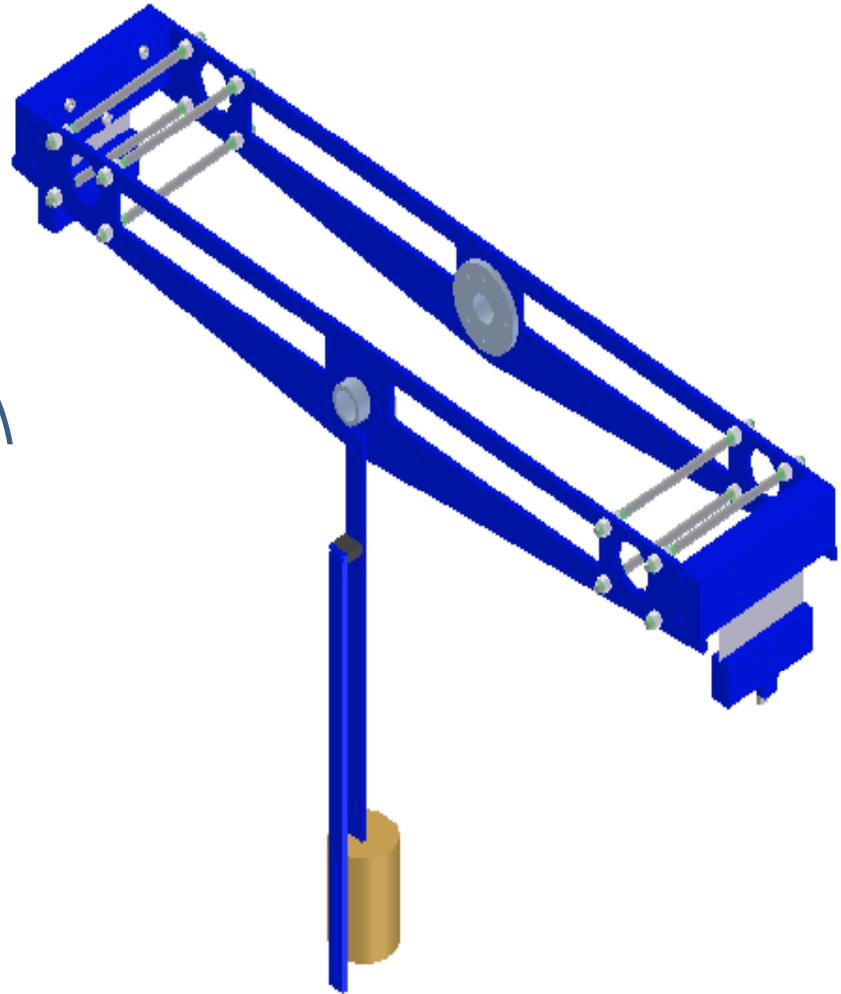
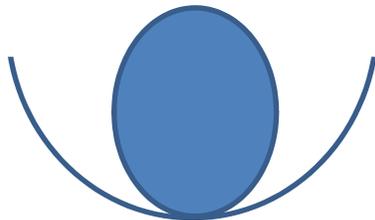
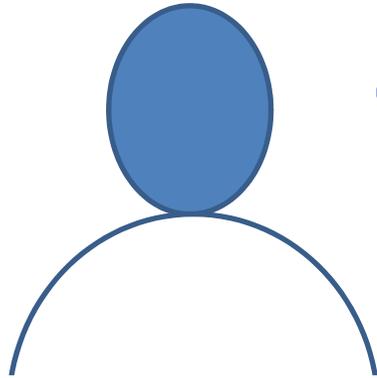
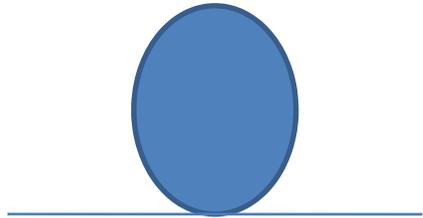
La posición horizontal es controlada por un inclinómetro.







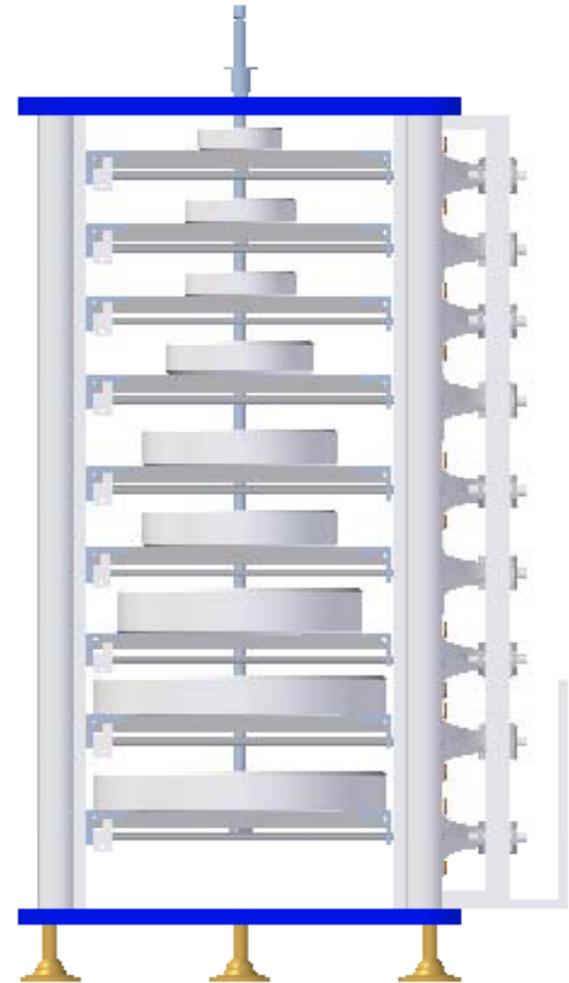




El conjunto de masas contenidas en la estructura fueron calibradas en CENAM y su resultado trazables al patrón nacional de masa (prototipo 21 en México).

Las masas son

- 2 x 2 N
- 1 x 5 N
- 1 x 10 N
- 2 x 20 N
- 2 x 100 N
- 1 x 200 N
- 2 x 250 N



Las masas pueden aplicarse y removerse en cualquier secuencia, independientemente una de otra, mediante un mecanismo activado por pistones en la estructura.



Un eje central de carga, transmite directamente la Fuerza F de cada masa a las placas de carga vía una banda metálica de espesor de $25 \mu\text{m}$ para generar un par de torsión de $1 \text{ kN}\cdot\text{m}$.



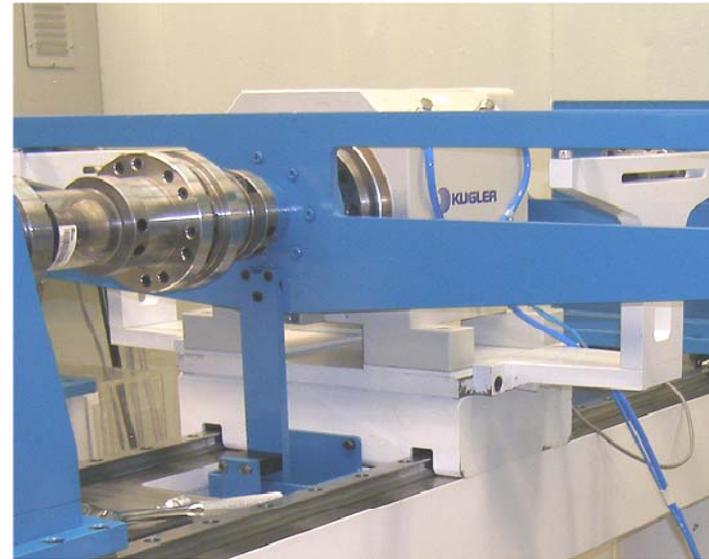
La caracterización del sistema de par torsional consistió en 3 partes:

1. Parte inicial: Definición teórica para la realización de la magnitud;
2. Parte intermedia: incluye la caracterización y validación del sistema de medición;
3. Parte Final: Calibración de transductores de par torsional con el SHPT-VW-1kN·m por personal de Volkswagen de México, S.A. de C.V.

1.- Parte inicial: Definición teórica para la realización de la magnitud.

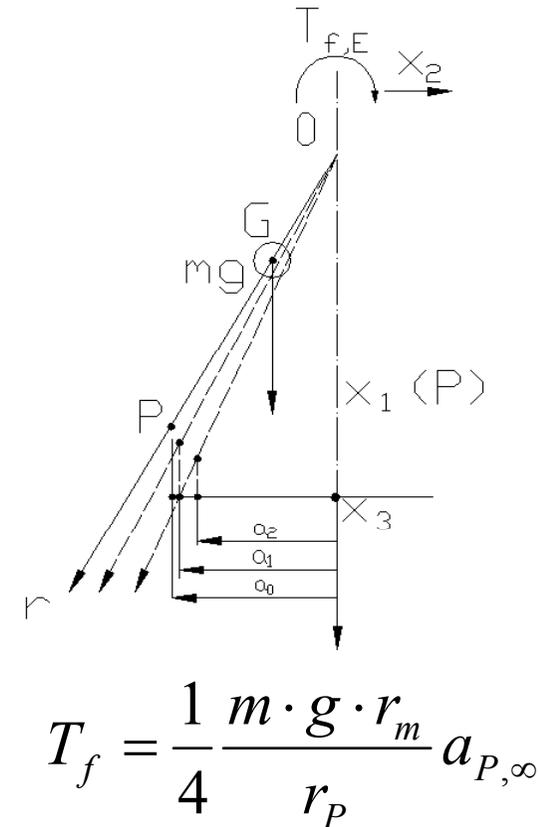
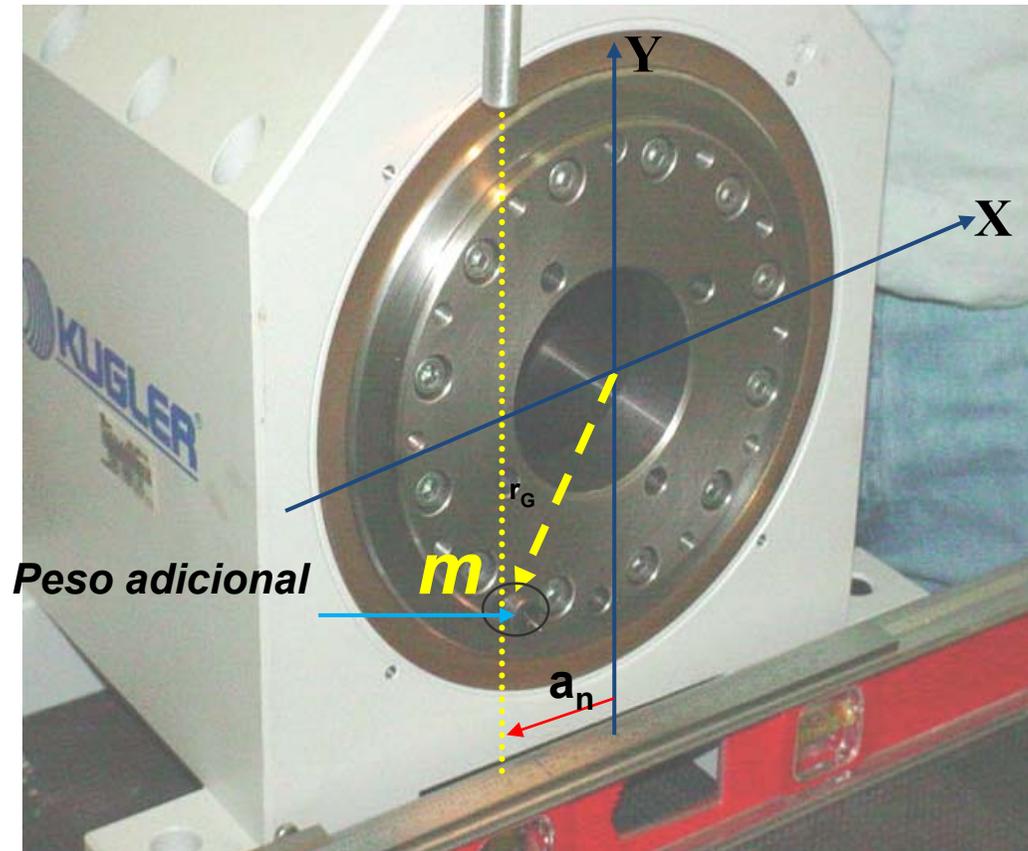
$$T = F \cdot d - T_f$$

$$F = m \cdot g_l \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m} \right)$$



g_l es la acción de la aceleración de la gravedad local para la ciudad de Puebla y es de $9,779\ 155\ m/s^2$

T_{amb} es la temperatura ambiente promedio en la empresa Volkswagen de México de $22\ ^\circ C \pm 2\ ^\circ C$.



El par torsional residual relativo de fricción del cojinete de aire, dio un valor estimado por la prueba de péndulo de $5 \cdot 10^{-5}$.

Las tablas siguientes muestran los cálculos realizados para el par torsional a ser aplicado en sentido horario y contra horario.

<i>Sentido horario</i>				
<i>Id. de la masa</i>	<i>Masa kg</i>	<i>F_{real-aplicada} N</i>	<i>Distancia m</i>	<i>Par Torsional Nm</i>
M-10 N·m	1,022 820	10,001	0,999 792	10,000
M1-20 N·m	2,045 510	20,001	0,999 792	20,000
M2-20 N·m	2,045 530	20,001	0,999 792	20,000
M-50 N·m	5,113 750	50,002	0,999 792	49,999
M1-100 N·m	10,227 390	100,003	0,999 792	99,996
M2 - 100 N·m	10,227 260	100,002	0,999 792	99,995
M- 200 N·m	20,455 160	200,010	0,999 792	199,996
M1- 250 N·m	25,568 830	250,011	0,999 792	249,993
M2- 250 N·m	25,569 230	250,015	0,999 792	249,997

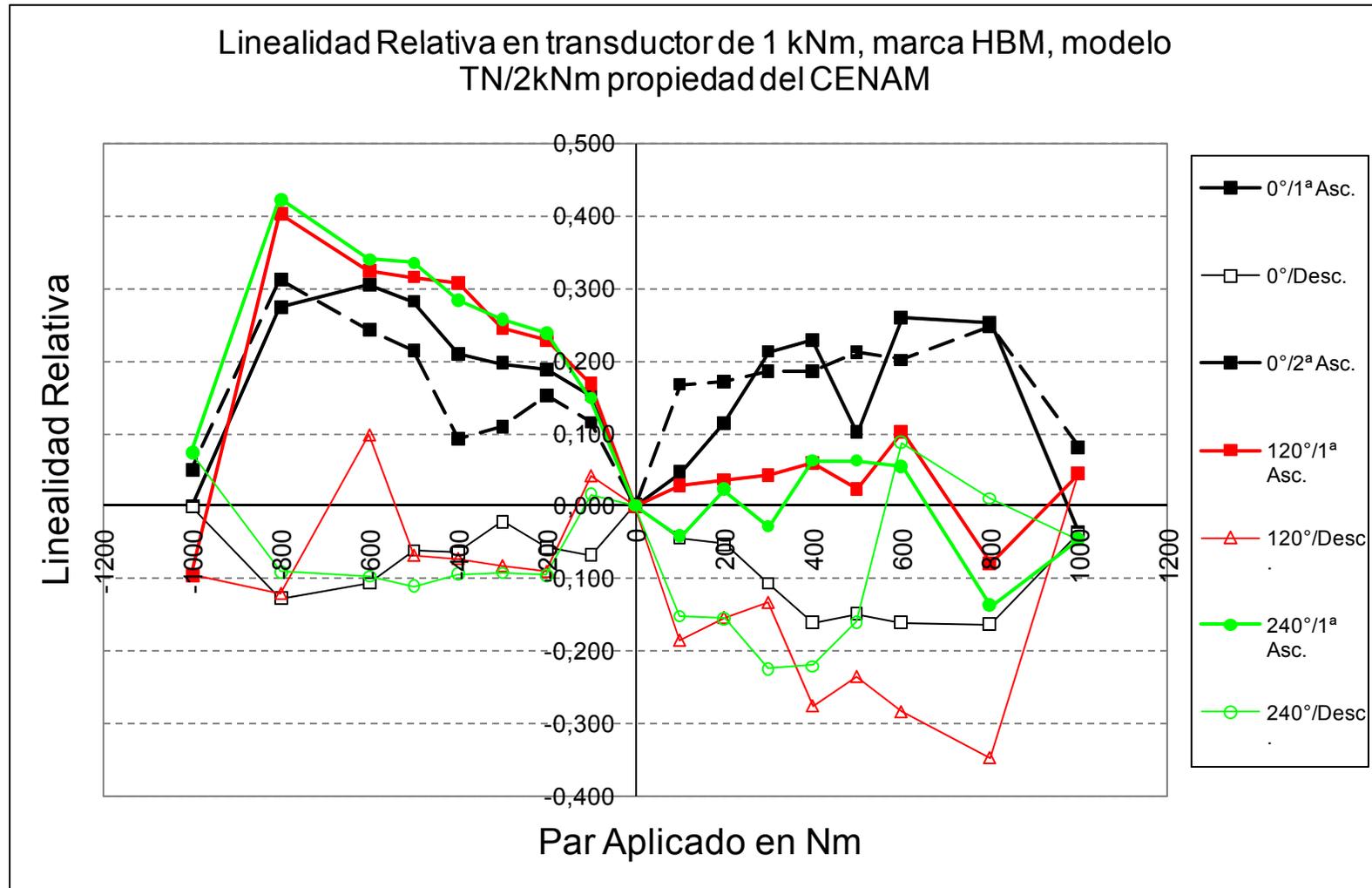
<i>Sentido contra horario</i>				
<i>Id. de la masa</i>	<i>Masa kg</i>	<i>F_{real-aplicada} N</i>	<i>Distancia m</i>	<i>Par Torsional Nm</i>
M-10 N·m	1,022 740	10,000	0,999 979	-10,001
M1-20 N·m	2,045 460	20,000	0,999 979	-20,002
M2-20 N·m	2,045 530	20,001	0,999 979	-20,002
M-50 N·m	5,113 590	50,001	0,999 979	-50,004
M1-100 N·m	10,227 350	100,003	0,999 979	-100,006
M2 - 100 N·m	10,227 560	100,005	0,999 979	-100,005
M- 200 N·m	20,455 120	200,010	0,999 979	-200,016
M1- 250 N·m	25,569 030	250,013	0,999 979	-250,018
M2- 250 N·m	25,569 240	250,015	0,999 979	-250,022

*Par torsional generado en sentido horario
utilizando la expresión $T = F d - T_f$*

2.- Parte intermedia: incluye la caracterización y validación del sistema de medición.

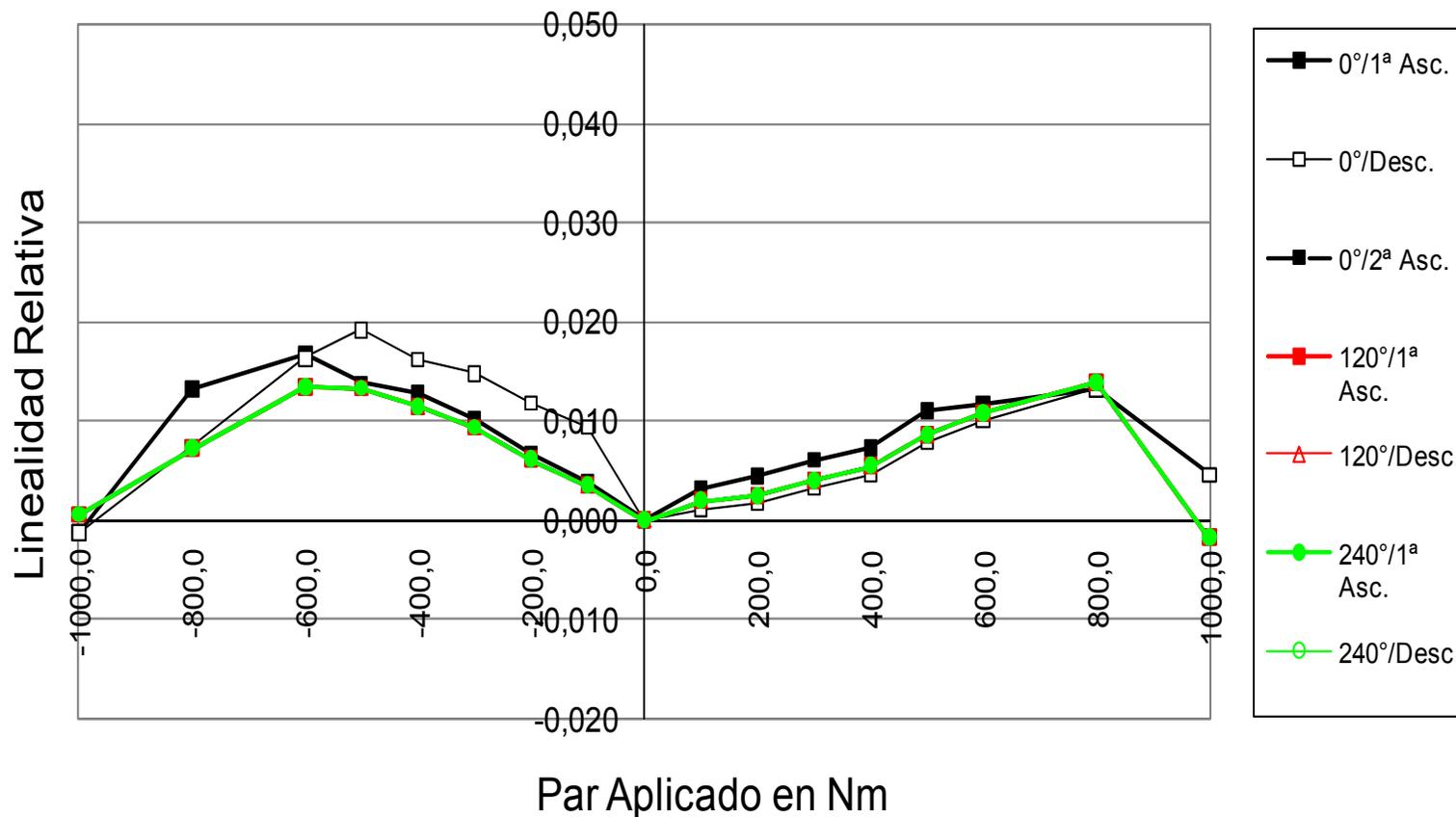
✓ La caracterización del SHPT-VM-1kN·m se realizó en las instalaciones de la empresa Volkswagen de México, S.A. de C.V. y consistió en verificar el comportamiento de la aplicación de cargas del SHPT-VM-1kN·m.



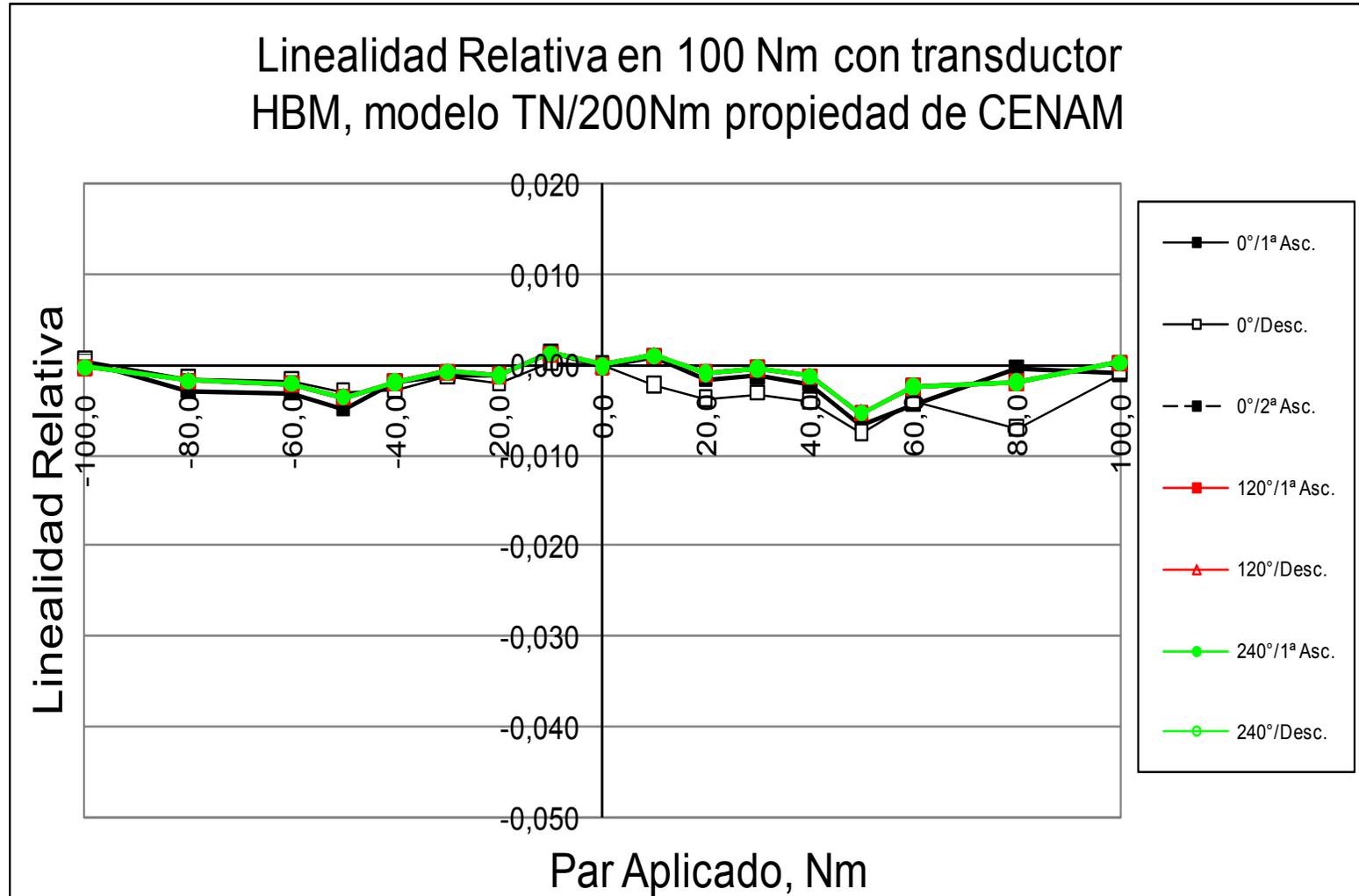


Linealidad relativa del transductor marca HBM, modelo TN/2000 N·m, alcance de medición 1 kN·m propiedad del CENAM antes de la caracterización del SHPT-VW-1kN·m

Linealidad Relativa en transductor de 1 kNm, marca HBM, modelo TN/2kNm propiedad de CENAM



Linealidad relativa del transductor marca HBM, modelo TN/2000 N·m, alcance de medición 1 kN·m propiedad del CENAM una vez caracterizado el SHPT-VW-1kN·m



Linealidad relativa del transductor marca HBM, modelo TN/200N·m, alcance de medición 100 N·m propiedad del CENAM una vez caracterizado el SHPT-VW-1kN·m.

✓ Validación del SHPT-VW-1kN·m

✓ El protocolo de medición fue realizado por el CENAM y ejecutado por personal de Volkswagen de México, S.A. de C.V. en las instalaciones de la misma empresa en marzo de este año 2008.

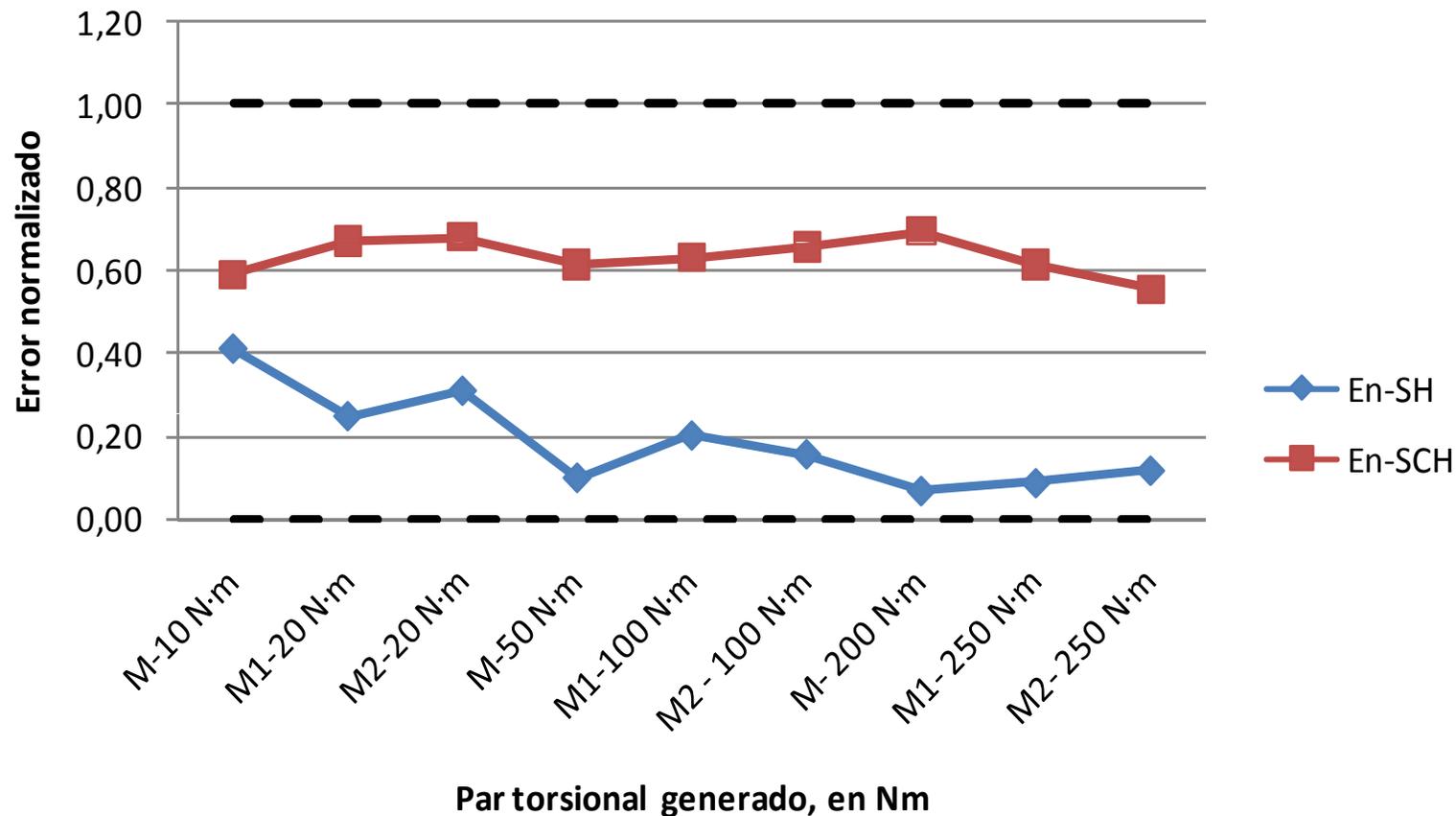
Lecturas obtenidas en los transductores de CENAM en el SHPT-VW-1kN·m en sentido horario

Id. de las Masas utilizadas	Par Torsional medido en el Transductor patrón en N·m			Lectura Promedio	U_{Exp} k = 2
	Serie 1	Serie 2	Serie 3	N·m	% Lect.
	M-10 N·m	10,00	10,00	10,00	10,00
M1-20 N·m	20,00	20,00	20,00	20,00	0,04
M2-20 N·m	20,00	20,00	20,00	20,00	0,04
M-50 N·m	50,00	50,00	50,00	50,00	0,04
M1-100 N·m	100,01	100,01	100,01	100,01	0,04
M2 - 100 N·m	100,01	100,00	100,00	100,00	0,04
M- 200 N·m	200,00	200,00	200,01	200,00	0,04
M1- 250 N·m	250,00	250,01	250,01	250,01	0,04
M2- 250 N·m	250,02	250,01	250,02	250,02	0,04

Lecturas obtenidas en los transductores de CENAM en el SHPT-VW-1kN·m en sentido contra horario

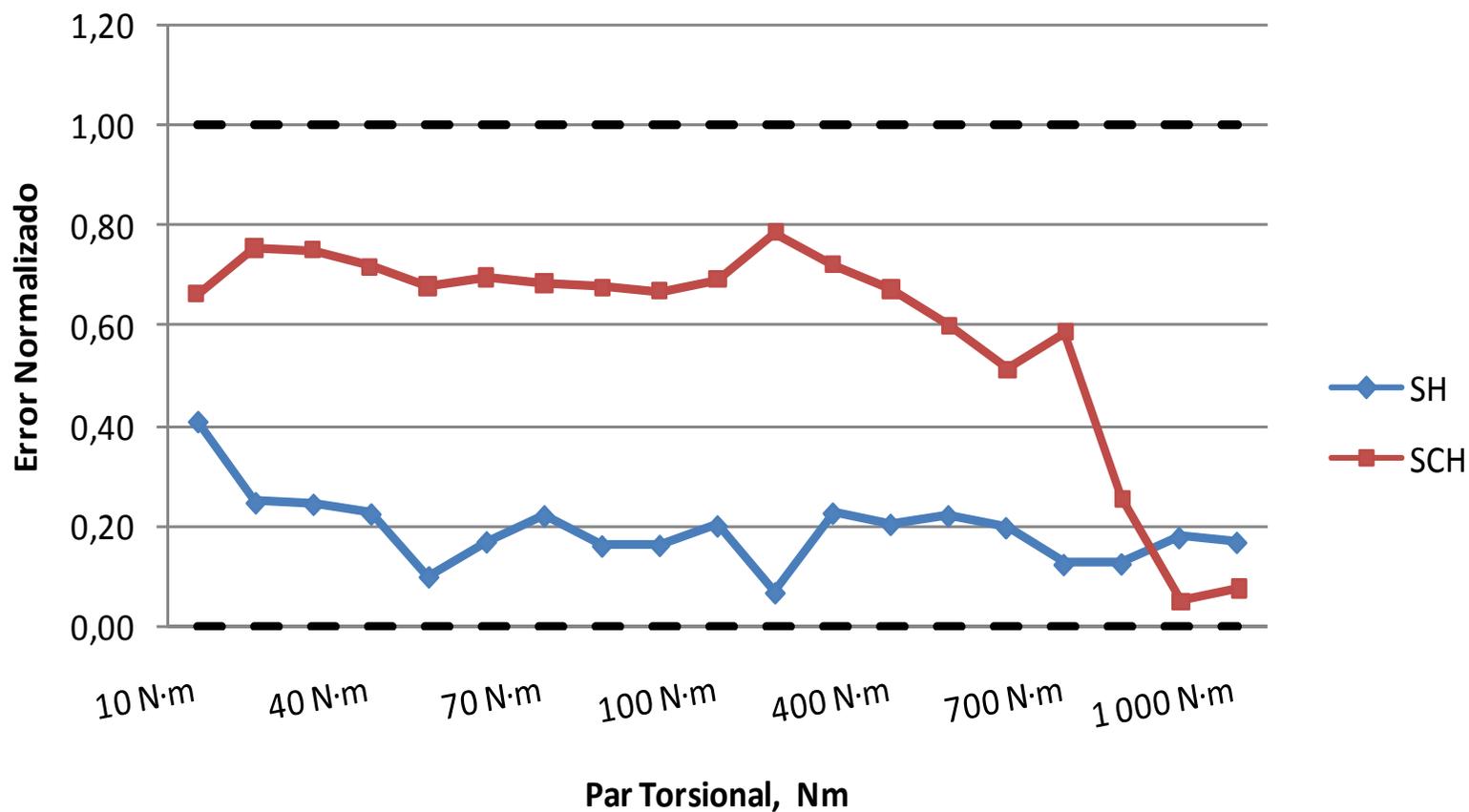
Id. de las Masas utilizadas	Par Torsional medido en el Transductor patrón en N·m			Lectura Promedio	U_{Exp} k = 2
	Serie 1	Serie 2	Serie 3	N·m	% Lect.
	M-10 N·m	-10,00	-10,00	-10,01	-10,01
M1-20 N·m	-20,01	-20,01	-20,01	-20,01	0,05
M2-20 N·m	-20,01	-20,01	-20,01	-20,01	0,05
M-50 N·m	-50,02	-50,03	-50,02	-50,02	0,04
M1-100 N·m	-100,05	-100,05	-100,05	-100,05	0,04
M2 - 100 N·m	-100,05	-100,05	-100,05	-100,05	0,05
M- 200 N·m	-200,11	-200,11	-200,11	-200,11	0,05
M1- 250 N·m	-250,13	-250,12	-250,12	-250,12	0,05
M2- 250 N·m	-250,12	-250,12	-250,11	-250,12	0,04

Gráfico de Error normalizado



Error normalizado para valores generados en el SHPT-VW-1kN·m contra los medidos por comparación con los transductores patrón de CENAM.

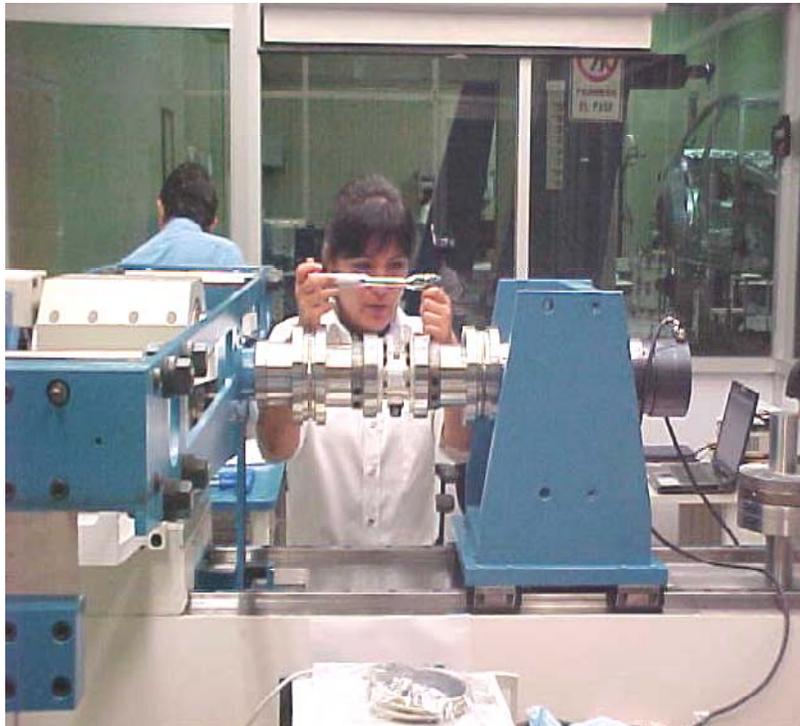
Error Normalizado hasta 1 kNm



Error normalizado para combinación de masas en el SHPT-VW-1kN·m contra los valores de Par Torsional medidos con los transductores patrón de CENAM

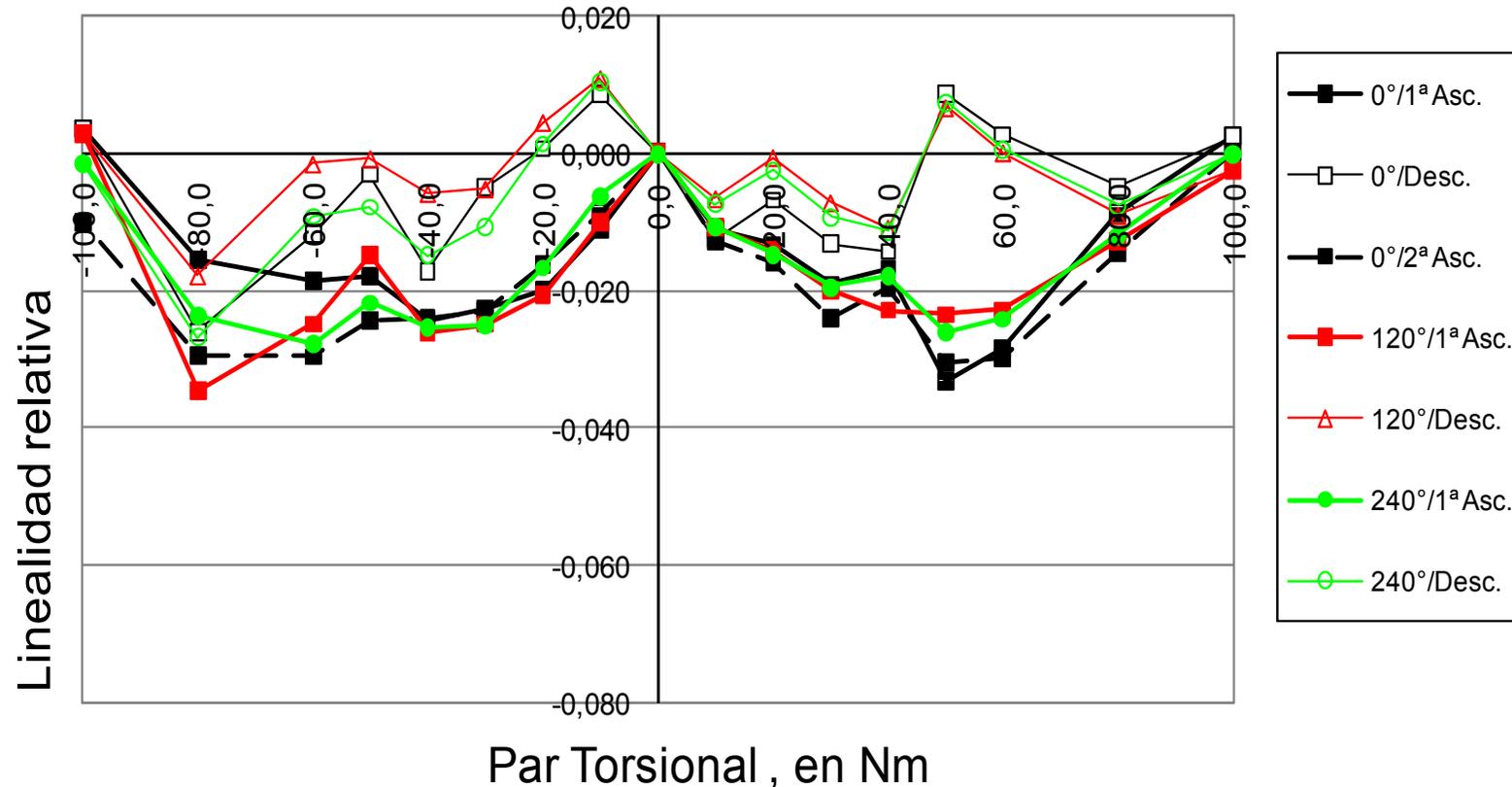
3. Resultados.

Parte Final: Calibración de transductores de par torsional con el SHPT-VW-1kN·m por personal de Volkswagen de México, S.A. de C.V.



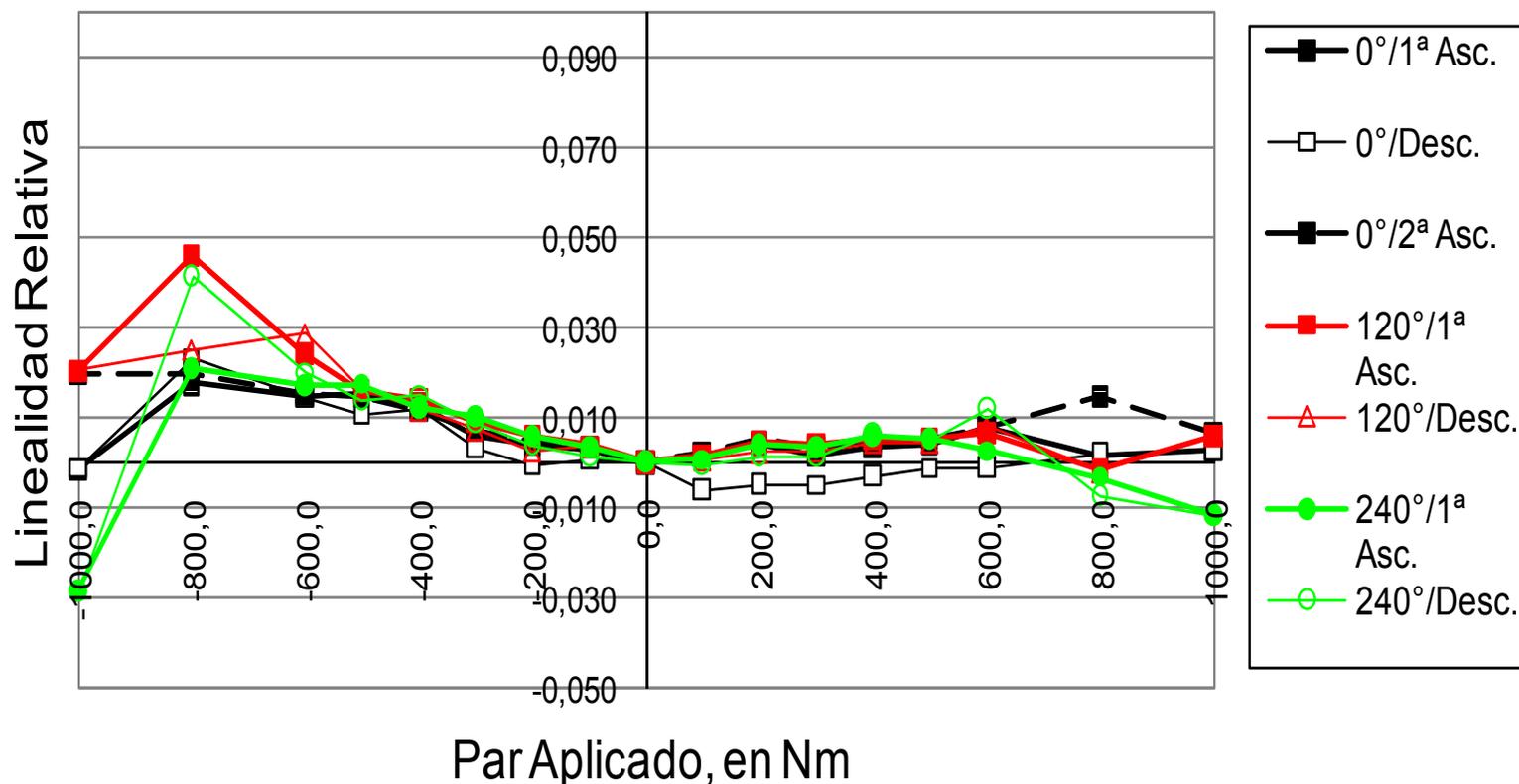
Se realizó la calibración de 2 transductores de par torsional mediante el método primario (alcances de medición de 100 N·m y de 1 kN·m) y de 1 transductor de par torsional por el método de transferencia (alcance de medición de 10 N·m).

Linealidad relativa Vs. Par Aplicado en transductor de 100 Nm



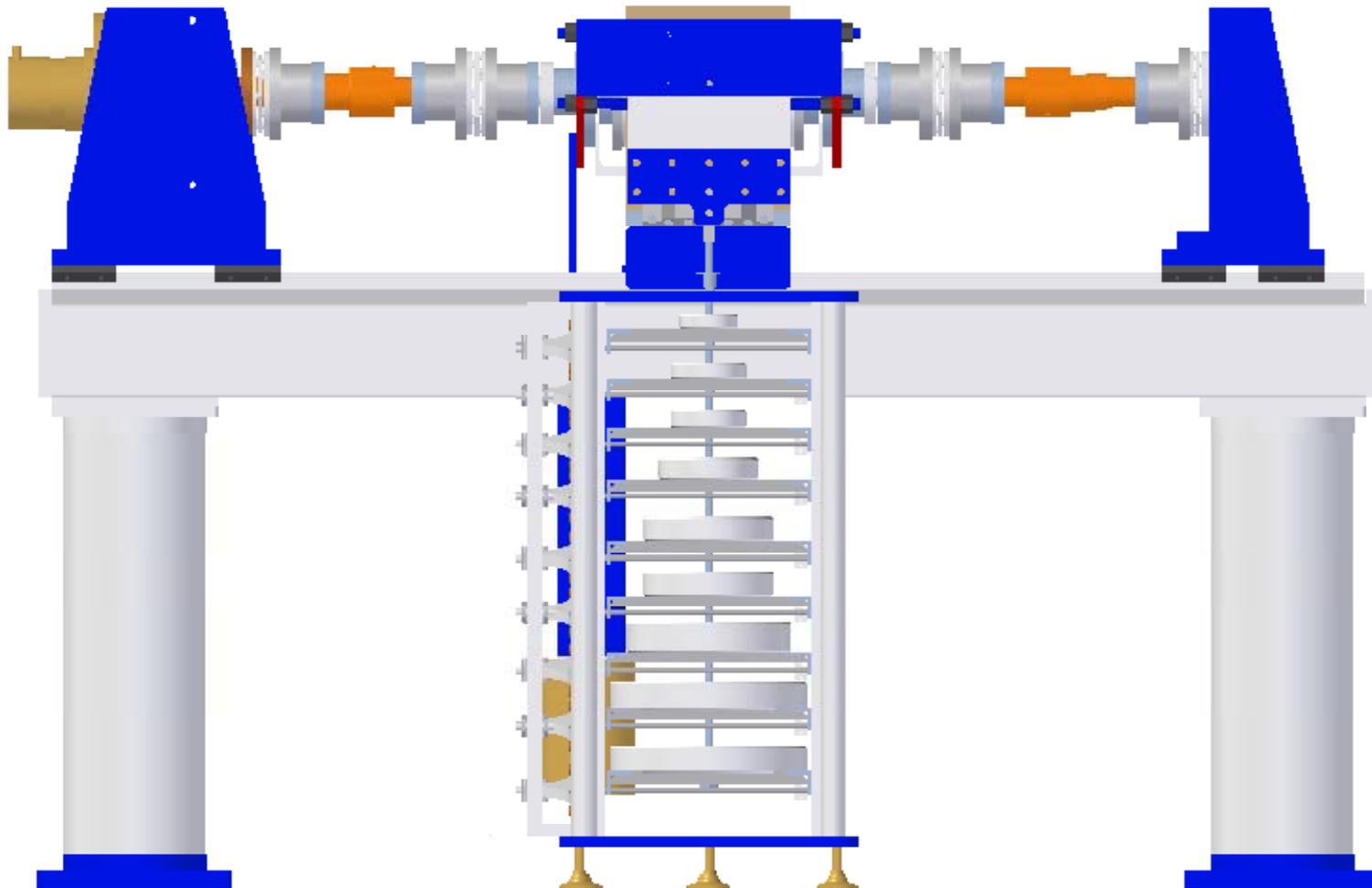
Linealidad relativa en la calibración del transductor de 100 N·m, marca HBM, modelo TB1A, alcance de medición 100 N·m propiedad de Volkswagen de México, S.A. de C.V., en el SHPT-VW-1kN·m.

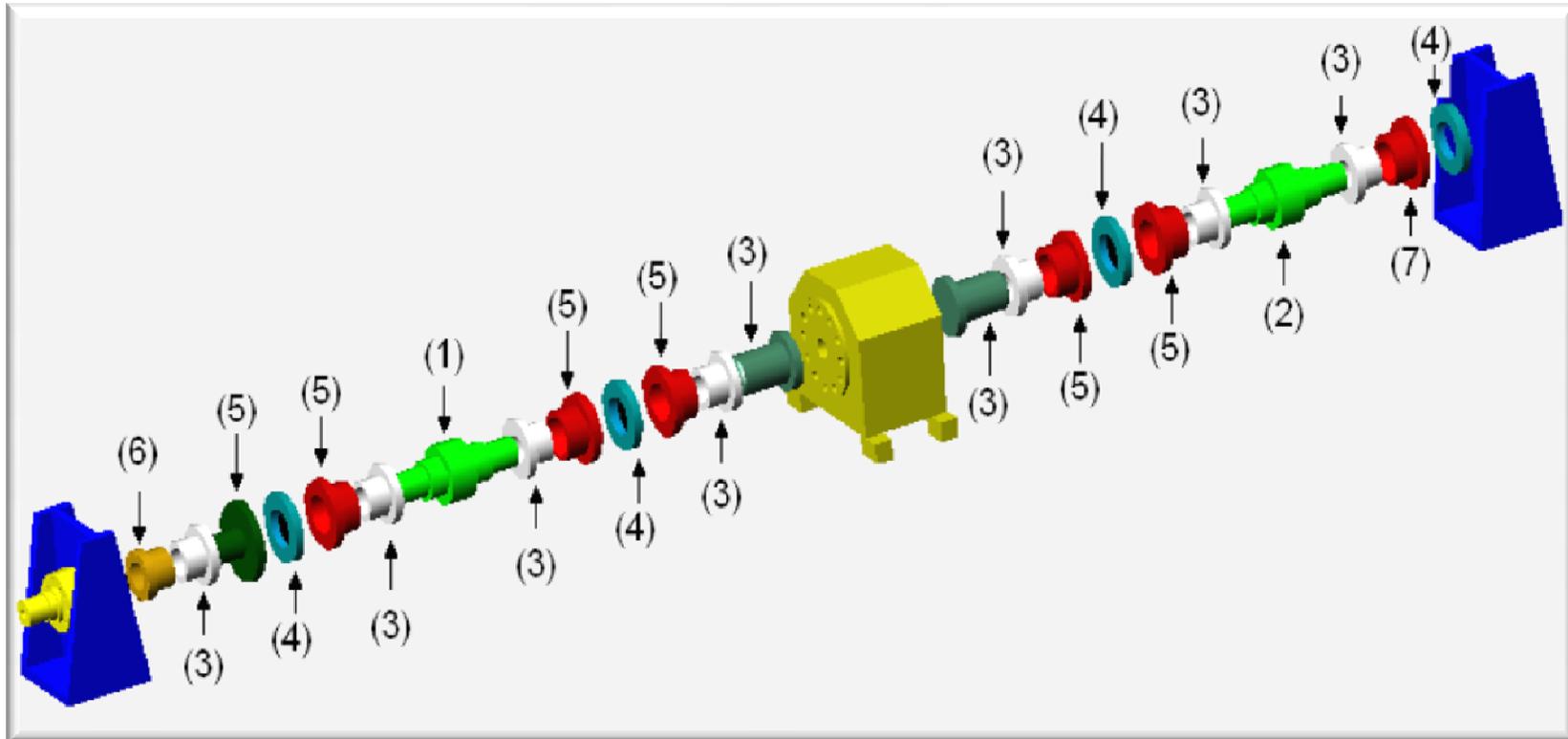
Linealidad relativa Vs. Par Aplicado en transductor de 1 kNm



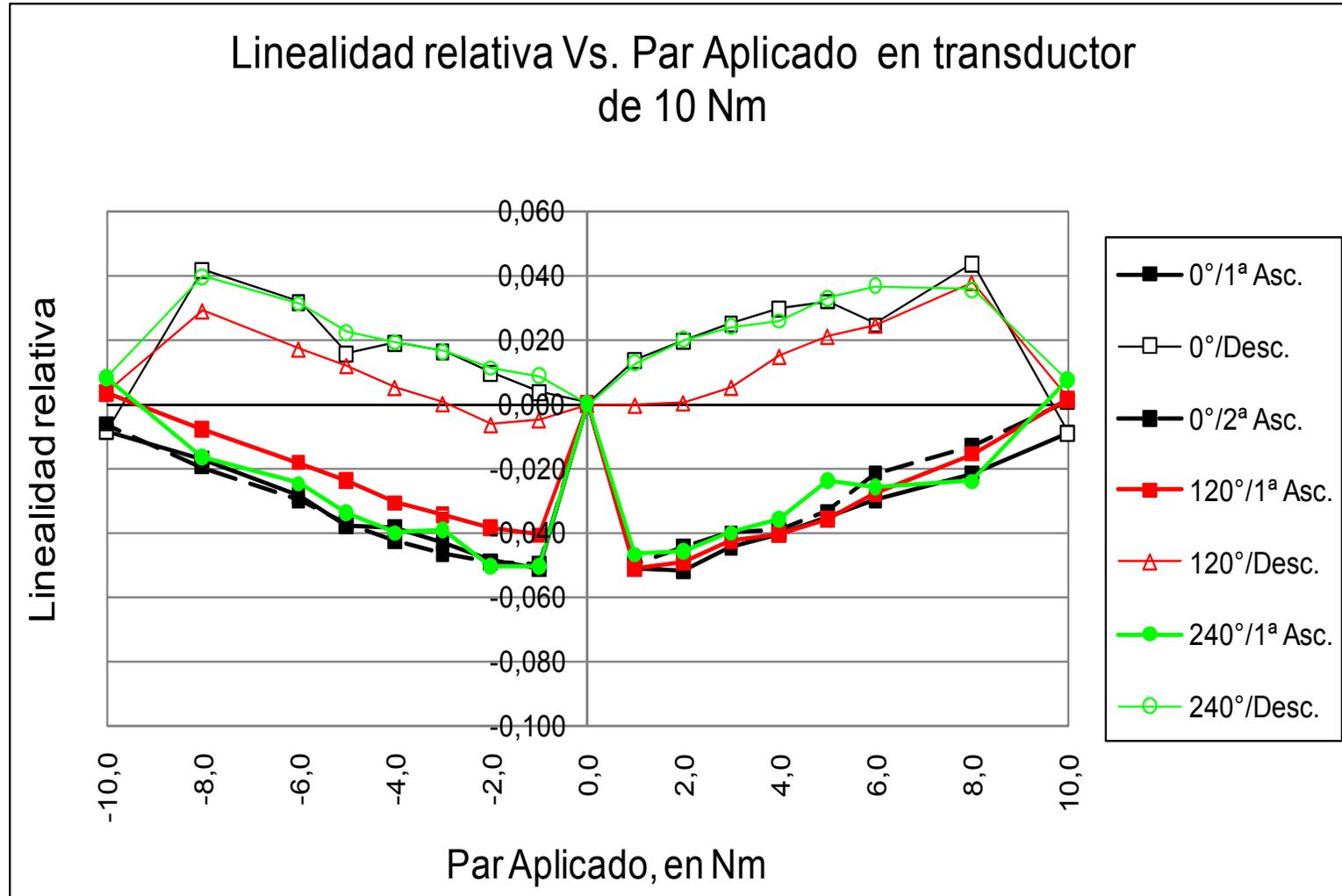
Linealidad relativa en la calibración del transductor de 1 kN·m marca HBM, modelo TB1A, alcance de medición 1 kN·m propiedad de Volkswagen de México, S.A. de C.V., en el SHPT-VW-1kN·m

Método de Transferencia de Par Torsional





1. Transductor patrón;
2. Instrumento medidor de par torsional bajo calibración;
3. Acoplamientos hidráulicos rápidos (ETP);
4. Acoplamiento s Flexibles;
5. Accesorios de conexión entre coples hidráulicos y flexibles;
6. Accesorios adicionales para conexión con el servomotor.

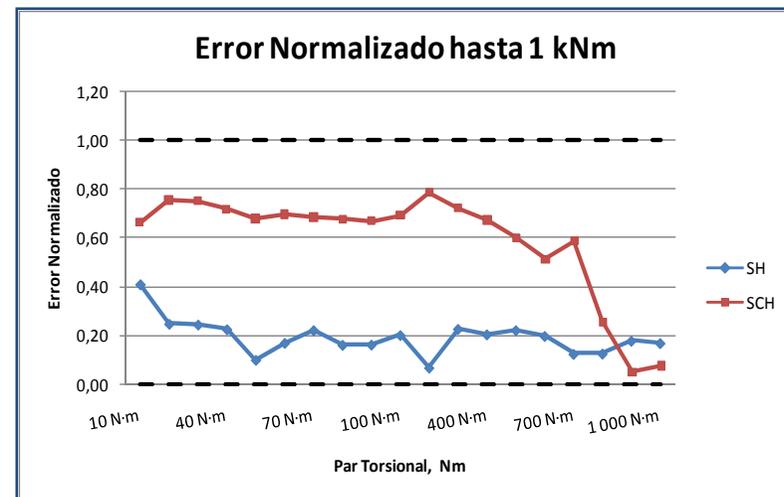
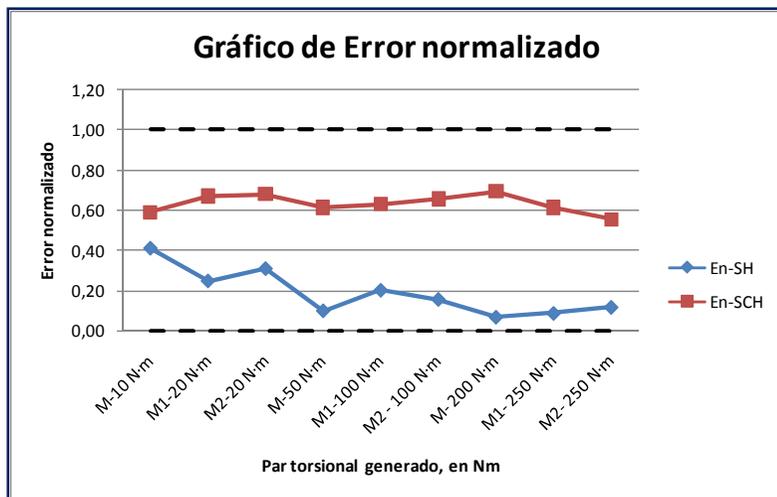


Linealidad relativa en la calibración del transductor de 10 N·m marca Lathi, modelo TT1, alcance de medición 10 N·m propiedad de Volkswagen de México, S.A. de C.V., en el SHPT-VW-1kN·m por el método de transferencia.

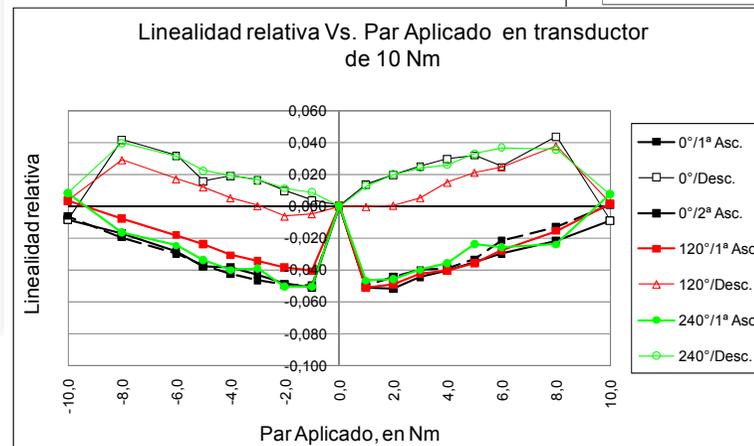
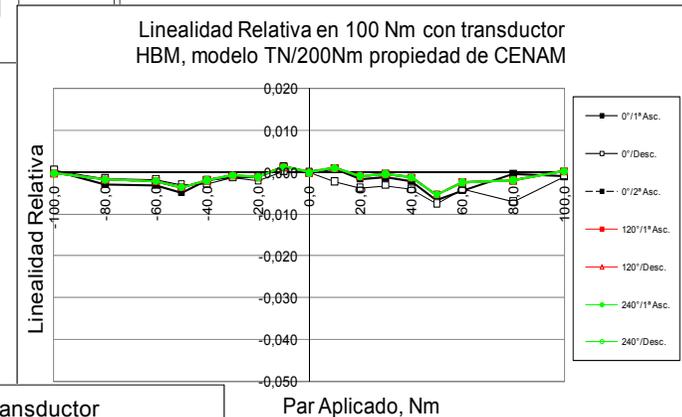
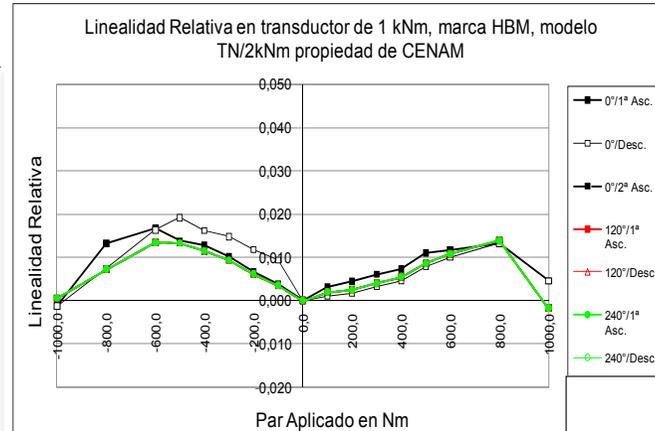
4. Discusión.

- Los resultados de la caracterización arrojaron cifras que confirman que el SHPT-VW-1 kN·m trabaja con una incertidumbre relativa de $5 \cdot 10^{-4}$ o mejor.
- Las curvas de linealidad relativa de los transductores calibrados con el método primario, así como con el método de transferencia confirman la caracterización del sistema SHPT-VW-1 kN·m .

➤ Los resultados de los errores normalizados por cada punto de par torsional medidos por masa aplicada, así como los obtenidos de las combinaciones de las masas, generan confiabilidad y uniformidad en las mediciones realizadas.



➤ Las curvas características que se obtienen del proceso de calibración en el SHPT-VW-1 kN·m, muestran un patrón de comportamiento del sistema de medición.



5. Conclusiones.

Anteriormente

Actualmente

Pruebas de apriete con equipos calibrados sin trazabilidad a un patrón de referencia en el área PPC

Todas las pruebas de apriete en el área PPC, con equipos calibrados y con trazabilidad del resultado a un patrón de nacional

Equipos nuevos calibrados con reportes o informes de calibración heterogéneos

Equipos calibrados o verificados en el SHPT-VW-1 kN·m bajo especificaciones de la norma ISO-17025

Calibración de los patrones de medición en muchas ocasiones por laboratorios en el extranjero o por extranjeros que realizan mediciones en México, algunos sin cumplimiento de la norma ISO-17025

Calibración de patrones de medición en Volkswagen de México con la consecuente reducción de costos (tiempo, dinero y gastos operativos)

1. La caracterización del sistema híbrido de par torsional demostró que el sistema cumple con suficiencia las características y especificaciones necesarias y adecuadas en su operación bajo las condiciones de uso en su planta en Puebla.

2. La empresa Volkswagen de México, S.A. de C.V. cuenta con un patrón de referencia para la medición y calibración de par torsional, adecuado para ser origen de la trazabilidad de resultado de mediciones realizadas en su empresa.

3. El SHPT-VW-1 kN·m se entregó a la empresa Volkswagen de México, S.A. de C.V. generando resultados técnicamente válidos.
4. Se recomienda para el aseguramiento de la calidad de las mediciones realizar ensayos de aptitud con el sistema.

AGRADECIMIENTOS

- ✓ Fernando Martínez Juárez
- ✓ Calixto Morales Aguillon
- ✓ Jesús Galván Mancilla
- ✓ Rocío Jiménez Magaña
- ✓ Héctor Antonio Barrera D.
- ✓ Elohim Banda Balderas
- ✓ Jesús Aranzolo Suárez



Muchas Gracias por su
Atención

