

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA		
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	JUAN DAVID	
Apellido (s):	CASTRO CAÑON	
Código:	20122375061	
E-mail:	Ingmecanicojd@hotmail.com	
Teléfono fijo:	4635146	
Celular:	3125087122	
Ejecutor 2		
Nombre (s):	OSCAR EDUARDO	
Apellido (s):	GONGORA ALVAREZ	
Código:	20121375379	
E-mail:	oscargongora29@gmail.com	
Teléfono fijo:	-	
Celular:	3133612890	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	Diseño de un sistema automático para el punto de carga del banco de torques para la calibración de torcometros del laboratorio de par torsional de la empresa de Pinzuar Ltda.	
Duración (estimada):	6 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyecto	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de procesos industriales.	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Diseño en ingeniería mecánica.	
Grupo de Investigación:	Ninguno	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Diseño Mecánico, Automatización, Metrología.	
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		

Página Web:	
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	
Director: (Vo. Bo.)	Ing. Mauricio Gonzales Colmenares
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo)	Héctor Orlando Pinilla

Contenido

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1	ESTADO DEL ARTE	11
1.2	JUSTIFICACIÓN	23
2.	OBJETIVOS.....	25
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	25
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
3.	MARCO TEÓRICO	26
3.1	NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 5330	26
3.2	TÉRMINOS Y DEFINICIONES	26
3.2.1	Ensayos de conformidad del diseño.....	26
3.2.2	Ensayo de conformidad de la calidad.....	26
3.2.3	Calibración.....	26
3.2.4	Recalibración	26
3.2.5	Torcómetro indicador (Tipo I)	27
3.2.6	Torcómetros graduables/ajustables (Tipo II)	27
3.2.7	Dispositivo de calibración.....	27
3.3	CLASIFICACIÓN	27
3.4	CALIBRACIÓN	31
3.4.1	DISPOSITIVO DE CALIBRACIÓN	31
3.4.2	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN	31
3.4.3	CONDICIONES DE CALIBRACIÓN.....	31
3.5	SECUENCIA DE CALIBRACIÓN	33

3.6 TRANSMISION DE POTENCIA.....	34
3.6.1 Tipos de Reducción de Potencia.....	34
3.7 ¿qué es automatización?.....	36
3.7.1 La automatización y el cuerpo humano.....	37
3.7.2 Sistema de control distribuido.....	37
4. METODOLOGÍA.....	38
5. CRONOGRAMA.....	40
6. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	41
7. BIBLIOGRAFÍA.....	45

Contenido

Tabla 1. Evaluación de la calibración de torcometros de la empresa Pinzuar Ltda. en el transcurso del año 2014.....	10
Tabla 2. Capacidad máxima de par de torsión de la herramienta.....	13
Tabla 3. Instrumentos de control.....	13
Tabla 4. Desviación admisible (Tipo I).....	15
Tabla 5. Desviación admisible (Tipo II).....	16
Tabla 6. Ventajas de la automatización del punto de carga del banco para calibrar torques.....	24
Tabla 7. Cronograma de actividades	40
Tabla 8. Presupuesto de materiales	42
Tabla 9. Presupuesto del recurso humano	43
Tabla 10. Presupuesto general del proyecto y fuente de financiación	44

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La metrología “es la ciencia que estudia las mediciones y sus aplicaciones”¹, enfocada a cómo llevar a cabo una medición y la forma de la calibración de algún equipo o instrumento. La metrología maneja diferentes tipos de variables según la medición que se vaya a realizar. La variable de par torsional (N.m), está compuesta por una fuerza que se mide en Newton (N) y el producto de una longitud que se mide en metros (m). Esta variable en metrología se utiliza para la medición de torques y su calibración. Los torcómetros son usados para realizar los ajustes de instrumentos o mecanismos que necesitan tener la misma torsión en todas sus partes. Por ejemplo, tenemos que en la parte automotriz se necesita el ajuste del cabezal de motor en el cual los tornillos deben tener el mismo torque para que este quede balanceado.

El patrón de par torsional se conserva en el “CEM”² (Centro de metrología de España) ver figura 1, el cual está diseñado para la calibración de torcometros de 1000 N.m, con una incertidumbre relativa estimada de 1×10^{-5} M ($k = 1$), de este instrumento patrón parte la trazabilidad de todos los equipos usados en los países que realizan este tipo de ensayo.



Figura 1. Patrón Internacional de Par Torsional.

El estudio de esta variable ha estado evolucionando día a día pues en estos momentos se está realizando una fase de diseño de una máquina para ejecutar pruebas que pueda efectuar la calibración de torcometros de rangos de 0 a 10000 N.m. los bancos de pruebas como los diferentes tipos de instrumentos auxiliares para realizar calibraciones se están verificando y comprobando por medio de la

¹ Vocabulario Internacional de Metrología, VIM, 3 Edición, España, 2012, 15 pág.

² CEM. Laboratorio de Par de Torsión. [En línea]. [Consultado 2 de Febrero de 2014]. Disponible en <
<http://www.cem.es/cem/estructura-del-cem/%C3%A1rea-de-masa/laboratorio-de-par-de-torsi%C3%B3n>>.

metrología legal la cual nos asegura la exactitud y el método correcto para realizar estos tipos de ensayo. La metrología legal fue creada por la “OIML”³ (Organización Internacional de Metrología Legal), la cual está conformada por 57 países dedicados al estudio de las mediciones.

En cuanto al panorama nacional, Colombia también trabaja con los estudios de metrología, manejando varias variables entre ellas la de nuestro estudio de par torsional. Este patrón de par torsional se encuentra en la SIC⁴ (superintendencia de industria y comercio) donde se mantiene en un estado óptimo y de donde parte la trazabilidad de los instrumentos usados como patrones en los laboratorios de metrología. La SIC también cumple la función de ente de acreditación y controlador de la calidad de los productos.

Otra entidad que acompaña a la SIC como ente de acreditación es la ONAC⁵ (Organismo Nacional de Acreditación de Colombia), esta organización fue fundada para obtener el reconocimiento internacional de la acreditación. La ONAC es la encargada de manejar la metrología legal en Colombia y vela por que se estén manejando y aplicando correctamente las normas usadas para realizar los diferentes tipos de ensayos de calibración en los laboratorios de metrología que funcionan en el país.

La empresa Pinzuar Ltda., es una industria manufacturera que incursionó en el mercado en el año 1983, logrando su fundación legal en el año 1987. Comenzamos con reparaciones, mantenimiento y fabricación de repuestos para maquinaria importada. Paulatinamente se empezaron a fabricar máquinas para ensayos con una muy buena aceptación en el mercado hecho que determinó el desarrollo de sucesivos programas de ampliación, que unidos a los mejores niveles de calidad, permitieron colocar nuestro producto en el exterior con un gran éxito. En la actualidad Pinzuar Ltda., fabrica maquinaria y equipos para la medición y ensayo de materiales para laboratorios de suelos, concretos y asfaltos. Efectuamos actividades de calibración, mantenimiento y reparación. Cuenta con su laboratorio de metrología en el cual funcionan 6 variables como son: longitud, temperatura, fuerza, masas y balanzas, presión y par torsional, todas acreditadas por la ONAC. Para poder realizar sus calibraciones y ofrecer a los clientes un trabajo óptimo y de confianza. En el laboratorio se manejan equipos de alta tecnología

³ OIML, Organización Internacional de Metrología Legal. [En línea]. [Consultado 14 de Marzo de 2014].

< <http://es.scribd.com/doc/42378256/Que-es-la-OIML> >.

⁴ Arias, Juan. CURSO DE PAR TORSIONAL [Diapositivas]. Bogotá, Superintendencia de Industria y Comercio. 2011. 38 Diapositivas. Col.

⁵ ONAC, Organismo Nacional de Acreditación de Colombia. [En línea]. [Consultado 28 de Marzo de 2014]. < <http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=252> >.

para realizar las calibraciones, en el área de par torsional se manejan transductores de calidad para realizar este ensayo, pero el banco de pruebas donde se desarrolla esta prueba no cuenta con la suficiente precisión pues en el punto donde se aplica la carga para realizar el desplazamiento del torque tiene un sistema manual de manivela, el cual por medio de un tornillo sinfín realiza el desplazamiento del torque.

la calibración de los torques se realizan basados en la norma NTC 5330⁶, la cual nos muestra la forma de realizar este ensayo, los tipos de torques que se pueden calibrar y la forma de obtener los datos de los errores y sus correspondientes incertidumbres. El laboratorio de par torsional está acreditado para realizar calibraciones de 50 N.m. a 2000 N.m. y se toman los puntos en el 20, 60 y 100% según norma. Uno de los factores importantes de una calibración es que los equipos a base de prueba muestren una buena repetibilidad y exactitud en el momento de ser calibrados. Para poder lograr esto necesitamos que la velocidad con la cual se aplica la carga sea constante, factor que no se está cumpliendo ya que la carga se aplica con un sistema manual.

Otro factor que nos afecta el ensayo de la calibración, es que la norma nos exige realizar 5 precargas antes de realizar la calibración para ver el comportamiento del equipo y mirar si se puede calibrar, o está marcando mucho error lo cual indicaría que hay que realizarle mantenimiento. En estas precargas se llevan los equipos a su rango máximo, al 100% de la carga, como se manejan torques de más de 500 N.m. el personal que los calibra tiene que hacer mucho esfuerzo para llevar estos equipos a su rango máximo y esto implica que no se estén entregando los instrumentos de calibración a los clientes a tiempo. Por otra parte, podemos ver en la tabla 1 la cantidad de dinero que se está perdiendo al no poder calibrar la totalidad de torcometros que han ingresado cada mes al laboratorio.

⁶ Norma técnica NTC colombiana 5330. Herramientas de ensamble para tornillos y tuercas. torcómetros manuales (herramienta manual de par torsional). requisitos y métodos de ensayo para la determinación de la conformidad del diseño, la calidad y para el procedimiento de recalibración. Colombia. Icontec. 2005.

Tabla 1. Evaluación de la calibración de torcometros de la empresa Pinzuar Ltda., en el transcurso del año 2014.

Rangos de Torcometros del laboratorio de Pinzuar Ltda.	Costo de calibración de por unidad	Equipos que ingresaron para calibración				Equipos Calibrados				Ingreso total de equipos calibrados	Ingresos no obtenidos por equipos que no se calibraron
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Enero	Febrero	Marzo	Abril		
0.5 N.m. - 5 N.m.	\$ 190,000	15	10	9	6	8	7	6	6	\$ 5,130,000	\$ 2,470,000
5 N.m. - 50 N.m.	\$ 220,000	10	11	8	7	7	6	5	5	\$ 5,060,000	\$ 2,860,000
50 N.m. - 500 N.m.	\$ 250,000	8	6	8	7	6	4	4	6	\$ 5,000,000	\$ 2,250,000
500 N.m. - 1000 N.m.	\$ 290,000	6	5	6	4	4	3	3	4	\$ 4,060,000	\$ 2,030,000
1000 N.m. - 2000 N.m.	\$ 290,000	6	5	5	5	3	3	4	3	\$ 3,770,000	\$ 2,320,000
Total		45	37	36	29	28	23	22	24	\$ 23,020,000	\$ 11,939,000

Observando la tabla 1, podemos ver la recopilación de las calibraciones que se han realizado en este año, en la primera parte encontramos los rangos de los patrones que maneja el laboratorio de par torsional para realizar las calibraciones. Estos equipos, por los rangos que poseen, abarcan una gran cantidad de torcómetros diseñados que posee el mercado nacional. En la segunda columna, vemos el costo de la calibración de cada torcometro según el rango. Por otra parte, encontramos la cantidad de torcometros que ingresaron mes a mes en este año y la cantidad que se pudo calibrar. En esta parte podemos ver que el banco actual que posee la empresa de Pinzuar Ltda., no está logrando cubrir todas sus calibraciones ya que al tener un sistema manual los operarios se cansan muy rápido y no logran calibrar la demanda de torcómetros que están ingresando, dando paso a la necesidad de un sistema o mecanismo que les ayude a realizar estos esfuerzos.

Analizando la última parte de la tabla vemos la ganancia que tuvo el laboratorio, teniendo un ingreso de \$2302000 que equivale al 57% de los equipos entraron para calibración. Por otro lado observamos que se perdieron \$11939000 que corresponden al 43% de las calibraciones que no se pudieron realizar del 100% de los equipos que ingresaron al laboratorio. Esto estaría ocurriendo porque los operarios se están demorando mucho tiempo calibrando estos equipos a consecuencia de que no se pueda agilizar el proceso por el sistema manual que este posee, de ahí a la necesidad del sistema automático para el banco de par torsional, ya que así, se disminuirían los tiempos de calibración y se lograría cubrir toda la demanda de torcometros que están ingresando al laboratorio.

¿Qué aporte le haría el diseño de un sistema automático para el punto de carga del banco de par torsional para la empresa Pinzuar Ltda.? Será que con este sistema automático en el banco para calibrar torques, se disminuyen los tiempos de calibración de los torcómetros, se reduce el esfuerzo que tiene que hacer el personal de la empresa Pinzuar Ltda., para calibrar un torcometro y se aumenta el ingreso de torcometros al laboratorio de la empresa Pinzuar Ltda., para realizar su calibración.

1.1 ESTADO DEL ARTE

Como respaldo a la modalidad de trabajo del presente proyecto de investigación enfocado hacia el área de la metrología, involucrando áreas específicas como la automatización, el diseño mecánico y el manejo de software para el análisis, el diseño y simulación de mecanismos, buscamos trabajos relacionados con nuestro tema, que pudieran aportarnos para nuestro desarrollo.

Por ser un tema poco común en la industria en general, la automatización de un banco de torques que opera de manera manual, hace que la información de temas relacionados específicos y puntuales a un banco de calibración sea muy compleja. De igual manera la comparación referencial respecto a otras empresas e incluso países quienes cuentan con máquinas con sistemas totalmente automatizados, hace que la mejora tecnológica a la que le apuesta la empresa sea de gran valor y relevancia innovadora a la industria de la metrología en Colombia.

Luego de una minuciosa búsqueda en diferentes fuentes de información entre las cuales destacamos el apoyo brindado por la empresa Pinzuar Ltda., quienes nos permitieron el acceso a su base de datos, el Centro de Metrología del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, base de datos de la Universidad Distrital y buscadores de internet como Google Académico, se seleccionaron artículos y trabajos de investigación pertinentes al tema: a nivel mundial, regional y nacional con el fin de desvelar los aportes desde los diferentes puntos de vista desarrollados a partir de las necesidades de la industria.

A nivel mundial se relaciona el trabajo realizado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, quienes crearon y propusieron en el 2006 el *Procedimiento para la calibración de herramientas dinamométricas*. El procedimiento fue preparado por un grupo de trabajo del Subcomité Técnico de Calibración nº 5 de Fuerza de ENAC (empresa nacional de calibración), formado por expertos del Centro Español de Metrología (CEM), Construcciones Aeronáuticas (CASA), IBERIA y TCC y aprobado en la reunión número 22 del 27 de noviembre de 2006 del Subcomité técnico de calibración 5 de ENAC.

Este procedimiento es de aplicación única para las herramientas dinamométricas de lectura directa tipo I (clases A, B, C, D y E), a las herramientas dinamométricas de disparo tipo II (clases A, B, C, D, E, F y G) según la norma UNE-EN ISO 6789: 2004 (ISO 6789: 2003).⁷

⁷ Norma UNE-EN ISO 6789:2004 (ISO 6789: 2003): “Herramientas de maniobra para tornillos y tuercas. Herramientas dinamométricas manuales. Requisitos y métodos de ensayo para verificar la conformidad del diseño, de la calidad y del procedimiento de recalibración”.

Para la calibración de las herramientas dinamométricas disponen de equipos patrones de par, tipo eléctrico o mecánico, en rangos suficientes como para cubrir todo el campo de medida de las mismas, razón por la cual sobresale en comparación con nuestro sistema de calibración en particular ya que al contar con equipos de accionamiento automático (autónomo) como operacional (operador humano), aportan experiencias que enriquecen nuestra iniciativa como ejemplo de innovación.

Además el comité de trabajo español tomó en consideración que la exactitud del sistema de calibración (conjunto de patrón, dispositivo indicador, sistema generador de par de torsión, etc.) fuera tal que la incertidumbre máxima no excediera el 1% del valor del par de torsión aplicado. Los patrones, herramientas dinamométricas, así como el resto de piezas que conforman el conjunto de calibración, deberían estar diseñados para soportar pares de torsión en sentido horario, anti-horario o ambos, según su construcción, sin influencias significativas de fuerzas cruzadas y momentos flectores, esta especial característica señalada por el comité hace parte del proceso propio de hacer integro todas y cada una de las variables desde el mismo proceso de fabricación de las herramientas que hacen parte del conjunto de calibración; este ejemplo se direcciona concretamente a los proveedores de patrones. Como viabilidad a nuestro sistema de implementación se hace referencia a la trazabilidad que los miembros del comité sugieren que se les practique a todos los materiales y al mismo proceso de fabricación como garantía de calibración, es decir, tener en control todas las variables que influyen directa o indirectamente para la realización de la labor de la calibración.

Como elementos de conexión los miembros del comité señalaron un juego de adaptadores y conexiones para permitir acoplar los patrones y las herramientas dinamométricas a calibrar, adicional los autores recomiendan que sean fabricados de acuerdo a la capacidad máxima de par de torsión de la herramienta, estando su tamaño normalizado por la norma UNE-EN ISO 6789⁸, (ver tabla 2) con el fin de tener un margen de tolerancia bastante amplio que garantice un umbral de calibración de alta capacidad.

⁸ ME-004. Procedimiento para la calibración de llaves dinamométricas. CEMMINER. Edición 1. 1999.

Tabla 2. Capacidad máxima de par de torsión de la herramienta.

MAXIMO VALOR DE PAR TORCIONAL(N.m)	ACOPLAMIENTOS CUADRADOS(mm)
30	6,3
135	10
340	12,5
1000	20
2100	25
Fuente: Norma UNE-EN ISO 6789	

Para cualquier proceso de calibración es importante controlar las condiciones ambientales del lugar, pues es un factor determinante en los resultados de la medición. En la tabla 3 se muestra los instrumentos que dentro del proceso español fueron tomados en cuenta para los ensayos de calibración, y que para nuestro caso en particular hacen parte de la norma control ejercida por parte de la SIC (superintendencia de industria y comercio) y la ONAC (Organización Internacional de Metrología Legal), como parte de proceso de acreditación para obtener la autorización como laboratorio de metrología en Colombia.

Tabla 3. Instrumentos de control.

INSTRUMENTO	RESOLUCION	INCERTIDUMBRE
Termómetro	0,1 °C	1 °C
Higrómetro(hr)	1%	5%
Fuente: Norma UNE-EN ISO 6789		

Dentro del manual de procedimientos realizado por los autores, mencionan que la calibración fue realizada mediante el modo inverso; este método busca el valor de carga de consigna (fuerza aplicada) en la herramienta sometida a calibración y toma la indicación o lectura correspondiente en el patrón. Por otra parte, dentro del informe remitido por los mismos se resalta los cuidados que se deben tener en cuenta al momento de realizar el procedimiento para este tipo de calibración, de los cuales se enuncian a continuación⁹ los más relevantes:

⁹ MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA, procedimiento para la calibración de herramientas dinamométricas, Op, p 11.

- Para obtener cada uno de los puntos de calibración, los valores de par de torsión de referencia aplicados serán siempre de forma creciente no monótona, es decir, pasando siempre por el valor de cero antes de aplicar el siguiente valor de par de torsión de referencia.
- La calibración se realizará en un rango que comprenda los valores desde el 20 % a un valor del 100 % de la capacidad nominal de la herramienta dinamométrica. Se elegirán al menos 3 valores de carga repartidos de forma uniforme en dicho rango, coincidiendo el primero de ellos con el 20%, el segundo aproximadamente al 60 % y el último al 100 %.
- En el caso que la graduación del 20 % del valor máximo de par de torsión no esté marcada sobre la herramienta dinamométrica, deben controlarse las tolerancias a la graduación inferior más próxima.
- Se realizarán cinco reiteraciones consecutivas para cada una de las cargas seleccionadas, excepto en el caso de las herramientas regulables sin escala graduada, (tipo II, clases C y F) donde se realizarán 10 reiteraciones.
- El intervalo de tiempo entre dos cargas tiene que ser lo más similar posible. La aproximación al valor de carga se realizará sin brusquedades. A partir del 80 % del valor de consigna, la carga debe ser aplicada en un tiempo comprendido entre 2 s y 4 s, salvo indicación distinta del fabricante. No debe registrarse el valor hasta que se considere que la señal es estable.
- En el caso de herramientas dinamométricas tipo I, si se sobrepasa el valor de consigna, debe reiniciarse la medición.
- En el caso de herramientas dinamométricas tipo II se hará otra medición por cada carga pero aplicando la carga en el menor tiempo posible (nunca inferior a 2 s entre el 80 % y el 100 % del valor de referencia).
- En el caso de llave dinamométrica, se modificará la longitud de aplicación de carga 10 cm como mínimo siempre y cuando las características de la llave así lo permitan dentro del punto de carga de calibración (preferiblemente hacia el exterior) y se hará 1 medición por cada carga.
- Se girará el dispositivo 90°, se realizará una precarga, se esperará 30 segundos y se hará 1 medición por cada carga. En el caso de llave

dinamométrica que se pueda girar y realizar esta parte, se volverá a colocar para que la aplicación de la carga coincida con el centro del Volante.

Para la estimación y cálculo de las incertidumbres, el grupo evaluador del comité español tuvo en consideración los criterios establecidos en la Guía de Incertidumbres de Medida, editada por el Centro Español de Metrología, que ha tomado como base la guía ISO “Guía para la expresión de la Incertidumbre de Medida”¹⁰, y la guía EA-4/02 “Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration”¹¹, con el fin que quienes utilicen ese resultado puedan evaluar la medición de la magnitud; es conveniente, que dicho resultado vaya acompañado de alguna indicación cuantitativa para que las mismas puedan compararse entre si y con otros valores de referencia, de esta manera caracterizar la calidad del resultado de medición.

La incertidumbre de un resultado de medida consta generalmente de varios componentes y rangos de medición específicos para la calibración de torcómetros. Los anteriores pueden agruparse en dos categorías según la forma en que se estime su valor numérico:

Tabla 4. Desviación admisible (Tipo I).

Clase*	Valor máximo de par	
	≤ 10 N·m	> 10 N·m
A y D	± 6%	
B, C y E	± 6%	± 4%
*En el caso de herramientas dinamométricas con medida electrónica (clase C y clase E) y con el valor indicado (clase B y clase D), los valores de la desviación admisible incluyen el error debido a la Resolución del visor.		
Fuente: Norma UNE-EN ISO 6789:2004 (ISO 6789: 2003): “Herramientas de maniobra para tornillos y tuercas. Herramientas dinamométricas manuales. Requisitos y métodos de ensayo para verificar la conformidad del diseño, de la calidad y del procedimiento de recalibración”.		

El error reportado a un instrumento después de la calibración deber ser menor o igual al error máximo permitido para calificar un instrumento o equipo como apto o adecuado para la medición y control del proceso. Para cada valor de par torsión ensayado en las mediciones, se pondrá la desviación de cada medida respecto al

¹⁰ Guía para la expresión de la Incertidumbre de Medida, Versión Española, Edición 1 del CEM.2000

¹¹ Guía EA-4/02, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration.

valor estimado en la herramienta. Cada valor indicado en la herramienta tendrá como máximo una desviación de:

Tabla 5. Desviación admisible (Tipo II)

Clase*	Valor máximo de par	
	$\leq 10 \text{ N}\cdot\text{m}$	$> 10 \text{ N}\cdot\text{m}$
A, B y C	$\pm 6\%$	
D, E y F	$\pm 6\%$	$\pm 4\%$
<p>* En el caso de herramientas dinamométricas con medida electrónica (clase A y clase D), los valores de la desviación admisible incluyen el error debido a la resolución del visor. Para las clases C y F la desviación admisible es entre el valor de par de torsión graduado (media aritmética de las 10 lecturas) y el valor de par de torsión indicado.</p> <p>Fuente: Norma UNE-EN ISO 6789:2004 (ISO 6789: 2003): "Herramientas de maniobra para tornillos y tuercas. Herramientas dinamométricas manuales. Requisitos y métodos de ensayo para verificar la conformidad del diseño, de la calidad y del procedimiento de recalibración".</p>		

Para concluir el procedimiento empleado por España, avalado por el Centro Español de Metrología (CEM), preparado por un grupo de trabajo de la ENAC (empresa nacional de calibración), generó una respuesta positiva a la solicitud de la industria de la península ibérica, reflejando la necesidad en la existencia de un consenso internacional sobre la evaluación y expresión de la incertidumbre de medida, que permitirá entender e interpretar sin confusiones un amplio espectro de resultados de medida en los campos de la ciencia, la ingeniería, el comercio y la industria.

De igual manera observamos que como aporte para el desarrollo del presente documento es de vital importancia que el método de evaluación que se aplique sea estándar, de modo que las mediciones realizadas en diferentes países puedan ser comparadas fácilmente. En relación con los resultados se puede concluir, que más allá de las diferencias existentes en los dos laboratorios, y de tener diferentes infraestructuras, métodos y procedimientos remarcados por su ubicación geográfica, los resultados de los ensayos han sido muy similares debido a que los torcometros son de uso mundial con un mismo principio de funcionamiento y fabricación.

La calidad de un producto o servicio exige ajustarse a especificaciones, de manera que es necesario establecer procesos para asegurar que el seguimiento y la medición pueden realizarse de una manera coherente con los requisitos.

Las especificaciones de producto vienen expresadas en su mayor parte en términos de características medibles, es necesario que los instrumentos de medida sean confiables, de esta manera se garantiza que las decisiones que se toman en base a los resultados obtenidos, sean las correctas. El propósito de

implementar un sistema de control metrológico es ese, garantizar la confiabilidad e idoneidad del equipo de medición. Se ha hecho uso también de guías elaboradas para el respecto, las mismas que sirven de orientación para una implementación exitosa del sistema de control metrológico.

Vale la pena resaltar la aplicabilidad a todo tipo de empresas sin importar su estructura, tamaño o momento en el cual se desarrolle. Resulta importante el análisis de las estrategias que puede adoptar una organización para su desarrollo adoptando tendencias de autoevaluaciones a través de auditorías internas que permitirán identificar su nivel actual de desarrollo a nivel operativo que marcaran una tendencia a la mejora continua, con el fin de regirnos a las normas de metrología no solo de índole Nacional que en nuestro caso en particular nos refiere directamente a la norma NTC 5330¹², sino que nos brindara gran proyección nacional e internacional con beneficio estratégico a la empresa PINZUAR Ltda.

A nivel de Centro América se desarrolló una propuesta para el diseño de un instrumento calibrador de llaves dinamométricas en las empresas industriales de El Salvador, desarrollada por los estudiantes Mirna Elizabeth Alvarenga Rivas y Mario Alfredo Benavides Aviles, presentada en octubre del 2006, para optar el grado de ingeniería Industrial. El estudio surgió en torno a la necesidad mostrada por empresas generadoras y distribuidora de energía eléctrica, aviación, petrolera y automotriz entre otras, quienes no contaban con el servicio de calibración para sus torcómetros y llaves dinamométricas a nivel nacional, razón que obligaba por costos a emplear patrones calibrados y trazables (conforme a la norma ISO 6789).

Las dificultades presentadas al optar por esta solución inmediata generada a raíz del traslado de los patrones de calibración se exponen a fenómenos ambientales, o ambientes no favorables para el transporte de los mismos. Esto genera deterioro en los patrones ocasionando incertidumbres que sumados con una manipulación indebida de los instrumentos hace muy probable la entrega de productos y/o servicios que incumplieran con las exigencias de calidad, confiabilidad, seguridad, durabilidad y economía de sus clientes.

Un diagnóstico del estudio de mercado donde se revisó la demanda existente en diferentes sectores de la Industria Salvadoreña sobre la necesidad de calibrar torcómetros o llaves dinamométricas, respaldan la necesidad para que exista un servicio de calibración en el Salvador certificado, adicional es tomada como una oportunidad de mejora para la economía salvadoreña al poder brindar un servicio a nivel Centroamericano, Latinoamericano y/o Mundial.

¹² NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 5330, Op. cit., p. 6-9.

Es de resaltar que el desarrollo de técnicas confiables en el área de la Metrología y en nuestro caso en particular, genera nuevos espacios en la industria plasmados en nuevos clientes y crecimiento al negocio.

Las tres alternativas de solución halladas por los autores son:

- Un método comparativo que permite evaluar la condición de los torcometros.
- Sustituir un torcometro patrón por una celda de carga y un brazo de palanca. Este método depende del envío de la celda de carga patrón a otro país para poder mantener la trazabilidad¹³.
- Utilizar patrones trazables y confiables que ya se tenían en el país como lo son masas, longitud y el cálculo de la aceleración local de la gravedad, de acuerdo con estas tres magnitudes se conoce un valor de torque experimental comparado con el método descrito por el boletín en OIML No 127 de 1992 con un valor nominal¹⁴.

Al analizar las alternativas propuestas por los autores, salta a la vista que la primera y la segunda alternativa dependen de una fuerte inversión económica que la empresa deberá asumir en la compra de los dispositivos tales como calibrador de torcometros y en el segundo caso una celda de carga. Para la tercera propuesta de diseño, la inversión inicial es menor comparada con la primera y segunda propuesta y podría ser solventada por la empresa.

Para nuestro trabajo en desarrollo no es de gran relevancia los aportes generados por la investigación realizada en el salvador ya que los métodos establecidos no son los adecuados para el aprovisionamiento de instrumentos de medición que cumpla las especificaciones requeridas por los procesos de producción y que contemplen parámetros de calidad, uniformidad y durabilidad, según las condiciones del área de servicio de los mismos. Dentro de este aspecto además se han definido parámetros de evaluación y calificación de proveedores.

Se ha establecido así mismo, que es fundamental los parámetros de control para los patrones de trabajo que garanticen la confiabilidad de los mismos, esto es un

¹³ ALVARENGA RIVAS MIRNA ELIZABETH BENAVIDES AVILES, MARIO ALFREDO; propuesta para el diseño del instrumento calibrador de torquímetros o llaves dinamométricas en las empresas industriales de el salvador, op. cit., p. 95

¹⁴ ALVARENGA RIVAS, MIRNA ELIZABETH BENAVIDES AVILES, MARIO ALFREDO, propuesta para el diseño del instrumento calibrador de torquímetros o llaves dinamométricas en las empresas industriales de el salvador, op. cit., p. 96

intervalo adecuado de calibración externa, asegurar condiciones de mantenimiento de las características metrológicas de los mismos y controlar que los servicios de calibración y métodos de evaluación de proveedores sean adecuados a las necesidades de la empresa.

Por último se hace referencia en aspectos fundamentales que no se hacen presentes en el desarrollo del informe salvadoreño y que son fundamentales para el diseño del automatismo de calibración del presente trabajo de investigación, estos son:

- La estructura no debe mostrar deformación durante la aplicación de torque.
- Mantener el valor del torque aplicado después del punto de 250 N·m,
- El sistema debe mantener la carga aplicada en un tiempo mínimo para la lectura.
- El sistema de fijación de diferentes transductores.
- Alineación del torcometro dentro de las tolerancias.
- Distancia variable para la aplicación de la fuerza y aplicación de par en ambas direcciones.
- La extensión máxima alcanzada por el actuador hasta la cabeza del torcometro es de 90 cm, muy bueno para la gama de par deseado.
- Actuador funciona en ambas direcciones.
- Ergonomía para el operario de la máquina.

A nivel regional, se destaca un artículo realizado en el 2009 por Stella M. P. Domínguez, José L. F. Martins, Rafael S. de Oliveira y Rodrigo F. Guilherme, miembros activos del Laboratorio de Ensayos Mecánicos, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Federal Fluminense (LEM/UFF), Laboratorio de Fuerza, División de Metrología Mecánica e Instituto Nacional de Metrología (LAFOR/INMETRO), titulado *Principales características para un sistema de calibración de torcometros*.

En la investigación propuesta por los miembros de la universidad brasileña, destacamos como aporte fundamental a nuestro trabajo la descripción que hacen al sistema de calibración y sus principales componentes, tales como rangos nominales, instrumento patrón utilizado, el mecanismo de aplicación del torque y la unidad digital para la adquisición de datos. Además, encontramos gran similitud en el sistema utilizado en el Laboratorio de Pruebas Mecánicas (LEM) de la Universidad Federal Fluminense y el utilizado por la empresa PINZUAR Ltda., se realiza una breve comparación entre los sistemas evaluación que realizaron a un prototipo de banco de calibración, y aunque este prototipo había respondido positivamente al análisis, como mejora y desarrollo del laboratorio, se consideró que algunas acciones y correcciones deben ser implementadas tanto en aspectos de metrología como también en la estructura mecánica del sistema.

El sistema elegido para el estudio fue un prototipo compuesto por un transductor de par, de una estructura (madera) para montar el sistema y las cargas de aplicación, y una unidad de lectura para la adquisición y entrada de valores de los instrumentos¹⁵ (figura 2).

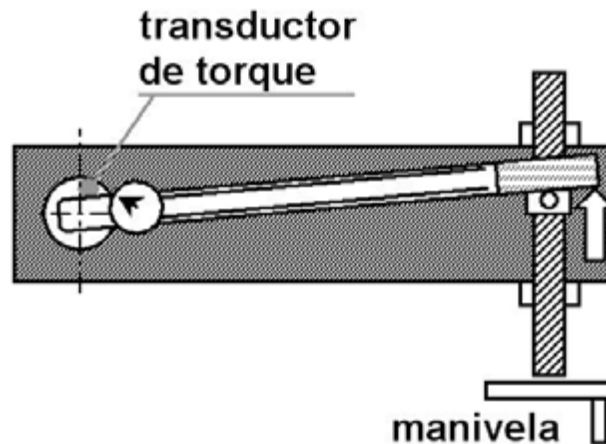


Figura 2. Prototipo con transductor de par como patrón (vista de arriba). Fuente: Principales Características de un Sistema de Calibración de Torcometros, *Información Tecnológica Vol. - 21 N° 4 - 2010*

Para que un sistema realice la calibración dada, la norma ISO 6789¹⁶ aclara que debe contar con dos características fundamentales y en el artículo los autores las definieron como estructura mecánica y características metrológicas. En cuanto a la estructura mecánica y el montaje del sistema de calibración de torcometros se destaca la similitud con nuestra línea de investigación, y de donde destacamos las siguientes recomendaciones a tener en cuenta para nuestro diseño:

- Una estructura inflexible para montaje y soporte de las cargas aplicadas durante la calibración.
- Las partes de fijación del transductor estándar deben ser intercambiables con todos los demás.

¹⁵ STELLA M. P. DOMINGUES, JOSÉ L. F. MARTINS, RAFAEL S. DE OLIVEIRA Y RODRIGO F. GUILHERME, Laboratorio de Ensayos Mecánicos, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Federal Fluminense (LEM/UFF) Principales Características de un Sistema de Calibración de Torquímetros, *Información Tecnológica Vol. - 21 N° 4 - 2010*

¹⁶ UNE-EN ISO 6789:2004. Herramientas de maniobra para tornillos y tuercas. Herramientas dinamométricas manuales. Requisitos y métodos de ensayo para verificar la conformidad del diseño, de la calidad y del procedimiento de recalibración (ISO 6789:2003).

- La alineación de las partes en el eje de la aplicación de las cargas deben cumplir con las tolerancias que describe la norma ISO 6789.
- La distancia entre la "cabeza" del torcometro y el punto de aplicación del actuador debe ser variable para adaptar el tamaño de los diferentes brazos de torcometros.
- El sistema también debe permitir la aplicación de la carga en ambas direcciones, derecha e izquierda.
- Por último la aplicación de la carga puede ser manual o automática.
- En cuanto a las características metrológicas del transductor, debe ser calibrado con arreglo a procedimientos internacionalmente reconocidos y el único requisito de la norma ISO 6789:2003 es la incertidumbre de medición del patrón que es menor o igual a $\pm 1\%$ ($k = 2$) para los puntos calibrados del torcometro¹⁷.

El prototipo fue diseñado para una carga máxima de 300 N·m, capacidad nominal del transductor y una de las bandas de mayor demanda en el mercado para el uso y calibración de los equipos. El transductor utilizado era de fabricación del mismo laboratorio, a través de la instrumentación con el uso de strain-gages, específicos para lectura de torque, fijo en el cuerpo del transductor, aislado y protegido. Se utilizó una configuración de puente completo con la salida a **6-pin plug**, por lo tanto, el transductor podía ser conectado tanto a los indicadores digitales de manera más precisa y en los indicadores más simples (Figura 3). El análisis del prototipo se realizó en tres etapas, inicialmente se evaluó la conducta de la Asamblea mecánica, luego las características metrológicas del transductor y por ultimo una auditoria de medición con la calibración de un torcometro como artefacto¹⁸.

¹⁷ STELLA M. P. DOMINGUES, JOSÉ L. F. MARTINS, RAFAEL S. DE OLIVEIRA Y RODRIGO F. GUILHERME, Laboratorio de Ensayos Mecánicos, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Federal Fluminense (LEM/UFF) Principales Características de un Sistema de Calibración de Torcometros, *Información Tecnológica Vol. - 21 N° 4 – 2010, p 102.*

¹⁸ STELLA M. P. DOMINGUES, JOSÉ L. F. MARTINS, RAFAEL S. DE OLIVEIRA Y RODRIGO F. GUILHERME, Laboratorio de Ensayos Mecánicos, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Federal Fluminense (LEM/UFF) Principales Características de un Sistema de Calibración de Torcometros, *Información Tecnológica Vol. - 21 N° 4 – 2010, p 103.*

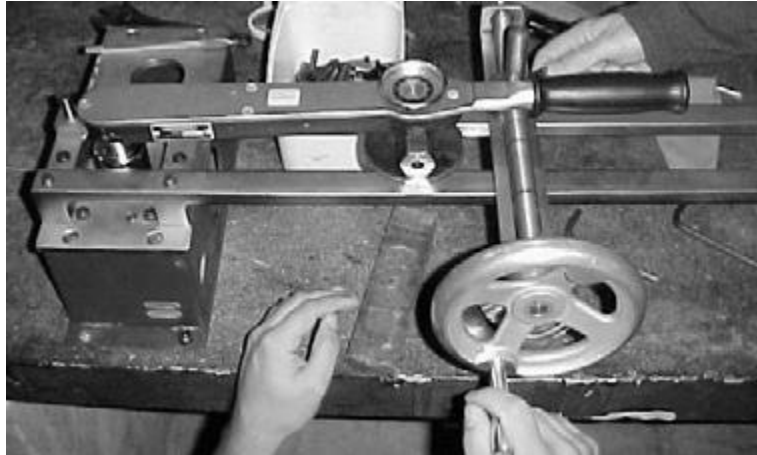


Figura 3. Foto del prototipo y del transductor. Fuente Principales Características de un Sistema de Calibración de Torcometros, Información Tecnológica Vol. - 21 Nº 4 – 2010, p 102.

Luego de analizar la estructura mecánica y las características metrológicas del prototipo brasileño se concluyó que era necesario hacer algunas mejoras al banco de pruebas de la empresa Pinzuar, entre las cuales están:

- Realizar una calibración del transductor en un sistema estándar de referencia más precisa.
- Evaluar la estabilidad del transductor en largo plazo, usar torcometros de diferentes rangos, tipos y exactitud.
- Usar un sistema de lectura más práctico, preciso y estable.
- Tener un mejor modelado en el cálculo de la incertidumbre de medición,
- Adecuar las condiciones ambientales del laboratorio.

1.2 Justificación

Con el actual crecimiento de la Industria nacional y la creciente demanda en sectores aeronáutico, automotriz, petrolero, gas, metalmecánico, fue necesario intensificar y mejorar el control de calidad en los productos y servicios, ofrecidos para el apoyo de estos sectores. Entre los diversos aspectos que contribuyen a la calidad e idoneidad del producto final en estos sectores se puede destacar la exactitud en el par torsional aplicado en el ensamble y montaje de equipos y estructuras. En las juntas en general, la fiabilidad de estos depende de la capacidad del tornillo para fijar las piezas. La correcta configuración impide que se dé el movimiento relativo entre las partes.

En el estudio de la magnitud de par torsional, un punto importante es la diversidad de instrumentos y sistemas para las mediciones y la aplicación de esa magnitud. En el control de la calidad, estos instrumentos tienen la necesidad de ser calibrados en forma periódica de acuerdo con su uso diario y de mantenimiento, después de reparaciones y posible desgates. Es donde el laboratorio de metrología de la empresa Pinzuar Ltda., por medio de esta variable de par torsional ve una gran oportunidad para su crecimiento en el portafolio de servicios y es donde se hace necesaria la adquisición de medios tecnológicos necesarios para la confiabilidad de nuestros clientes al tener el respaldo de la certificación de un ente de control para la calibración de sus instrumentos de trabajo.

La automatización del punto de carga del banco de par torsional implementado en el laboratorio de metrología de la empresa de Pinzuar Ltda., se muestra como una idea tecnológica ya que nos ayuda a sustituir algunas actividades, entre las que tenemos: el esfuerzo que hace el personal que calibra estos equipos al llevar al rango máximo los torquímetros, más exactitud y repetibilidad en el ensayo de calibración ya que se disminuiría el error en la medida, menor tiempo de calibración ya que nos agilizaría el proceso del ensayo. En seguida se muestra las ventajas que ofrece la automatización del punto de carga del banco de par torsional en el laboratorio:

Tabla 6. Ventajas de la automatización del punto de carga del banco para calibrar torques.

TIPO DE VENTAJAS	DESCRIPCIÓN
Tecnológica	La implementación de este sistema mejora el proceso de la calibración de los instrumentos.
	Aumenta la competitividad en términos de desarrollo con la innovación de este sistema.
Técnica	Optimiza la calidad del proceso.
	Mejora la repetibilidad y la exactitud del instrumento ya que la velocidad con la que se hace el ensayo va hacer constante.
Económicas	Se produce un aumento en la demanda de la calibración de torcometros ya que son muy pocos los laboratorios que manejan esta variable y el mercado es muy grande.
Social	Garantiza la seguridad del trabajador, ya que no necesita realizar grandes esfuerzos al realizar las calibraciones.
Administrativa	Aumenta la producción, ya que la calibración de los torcometros se realizara en menos tiempo.

Al analizar la tabla podemos ver la importancia en que radica el proyecto al automatizar el punto de carga del banco para la calibración de torcometros, acompañado de su sistema que le transmite la potencia y mejora del desplazamiento del instrumento. Con este mecanismo en función se lograra copar la demanda de instrumentos al tiempo deseado por los clientes y alcanzara un crecimiento a nivel regional y nacional como laboratorio de metrología.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema automático para el punto de carga del banco de torques para la calibración de torcometros del laboratorio de par torsional de la empresa de Pinzuar Ltda.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir por medio de la norma NTC 5330 los tipos de torcometros que se pueden calibrar en el banco de torques del laboratorio de la empresa Pinzuar Ltda.
- Seleccionar el tipo de mecanismo de transmisión de potencia para el desplazamiento del punto de carga del banco para la calibración de torques.
- Escoger un software de programación que nos permita visualizar las curvas de comportamiento de un torcometro bajo prueba en el módulo didáctico.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 5330¹⁹

HERRAMIENTAS DE ENSAMBLE PARA TORNILLOS Y TUERCAS. TORCÓMETROS MANUALES (HERRAMIENTA MANUAL DE PAR TORSIONAL). REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONFORMIDAD DEL DISEÑO, LA CALIDAD Y PARA EL PROCEDIMIENTO DE RECALIBRACIÓN

3.2 TÉRMINOS Y DEFINICIONES²⁰

Para los propósitos de este documento se aplican los siguientes términos y definiciones.

3.2.1 Ensayos de conformidad del diseño

Los requisitos que se deben cumplir durante el diseño o modificación de los torcómetros.

3.2.2 Ensayo de conformidad de la calidad

Los requisitos que se deben cumplir durante la fabricación de los torcómetros.

3.2.3 Calibración

Conjunto de operaciones que establecen bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores de las magnitudes que indique un instrumento de medición o un sistema de medición o valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes determinados por medio de los patrones.

3.2.4 Recalibración

Los requisitos que se deben cumplir durante la calibración de los torcómetros después de un período de uso definido.

¹⁹ NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 5330, Op. cit., p. 1-18.

²⁰ NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 5330, Op. cit., p. 1-2.

3.2.5 Torcometro indicador (Tipo I)

Herramienta que indica por medio de una escala mecánica, carátula o pantalla electrónica, el valor de la torsión ejercida por la herramienta en el impulso de salida.

3.2.6 Torcómetros graduables/ajustables (Tipo II)

Herramienta preajustada a un valor de torsión determinado, de manera que cuando la herramienta aplica en el impulso de salida el valor de torsión establecido, se produce una señal (por ejemplo: audible, visible, perceptible).

3.2.6.1 Torcometro graduado ajustable (Tipo II, Clase A, Clase D y Clase G)

Herramienta diseñada para ser ajustada por el usuario, y que tiene una escala o un indicador para ayudar al ajuste.

3.2.6.2 Torcometro no graduado ajustable (Tipo II, Clase C y Clase F)

Herramienta diseñada para ser ajustada por el usuario con ayuda de un dispositivo de calibración.

3.2.6.3 Torcometro con ajuste fijo (Tipo II, Clase B y Clase E)

Herramienta no diseñada para ser ajustada por el usuario, es decir, tiene una sola posición.

3.2.7 Dispositivo de calibración

Dispositivo usado para la calibración de los torcómetros.

3.3 CLASIFICACIÓN²¹

Los torcómetros a los que se aplica esta norma se clasifican como sigue:

a) Tipo I: Torcómetros indicadores.

- Clase A: llave, barra de torsión o flexión. Ver figura 4.

²¹ NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 5330, Op. cit., p. 2-3.

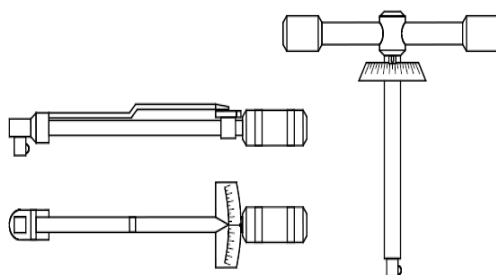


Figura 4. Torcometros de llave, barra de torsión o flexión.

- Clase B: llave, carcasa rígida, con escala o carátula o indicador. Ver figura 5.

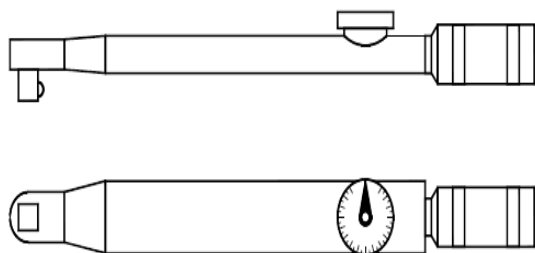


Figura 5. Torcometros de llave, carcasa rígida, con escala o carátula o indicador.

- Clase C: llave, carcasa rígida y medición electrónica. Ver figura 6.

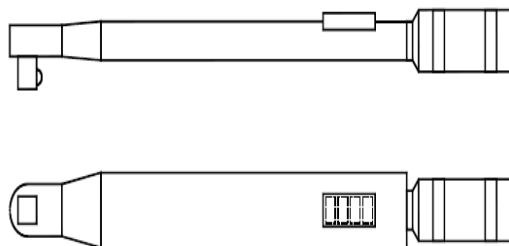


Figura 6. Torcometros de llave, carcasa rígida y medición electrónica.

- Clase D: destornillador con escala o carátula o indicador. Ver figura 7.

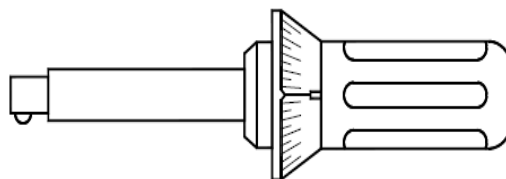


Figura 7. Torcometros de destornillador con escala o carátula o indicador.

- Clase E: destornillador con medición electrónica. Ver figura 8.

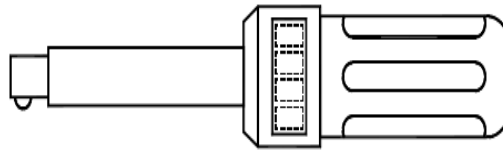


Figura 8. Torcometros de destornillador con medición electrónica.

b) Torcómetros de graduación - ajuste/graduable o ajustable.

- Clase A: llave ajustable, graduada o con indicador. Ver figura 9.

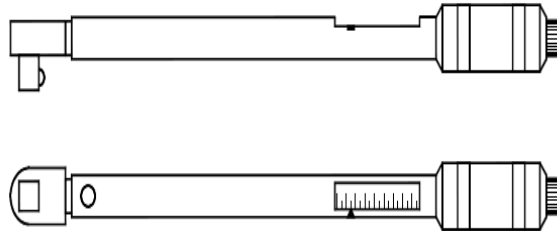


Figura 9. Torcometros de llave ajustable, graduada o con indicador.

- Clase B: llave con ajuste fijo. Ver figura 10.

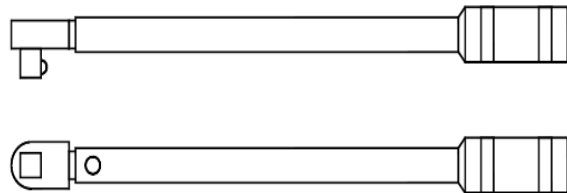


Figura 10. Torcometros de llave con ajuste fijo.

- Clase C: llave ajustable no graduada. Ver figura 11.

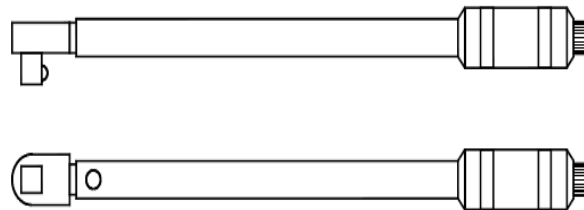


Figura 11. Torcometros de llave ajustable no graduada.

- Clase D: destornillador ajustable graduado o con indicador. Ver figura 12.

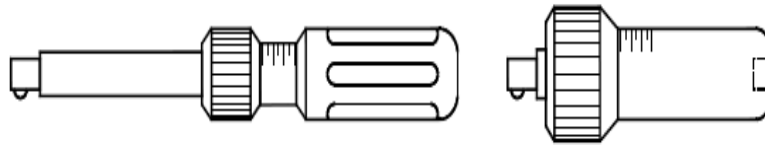


Figura 12. Torcometros de destornillador ajustable graduado o con indicador.

- Clase E: destornillador con ajuste fijo. Figura 13.

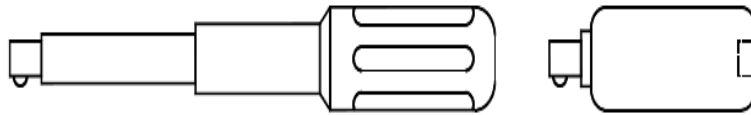


Figura 13. Torcometros de destornillador con ajuste fijo.

- Clase F: destornillador ajustable no graduado. Ver figura 14.

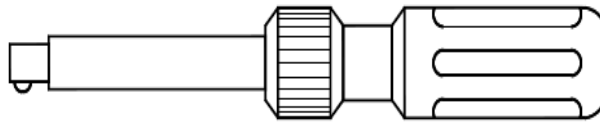


Figura 14. Torcometros de destornillador ajustable no graduado.

- Clase G: llave, barra de flexión, ajustable, graduada. Ver figura 15.

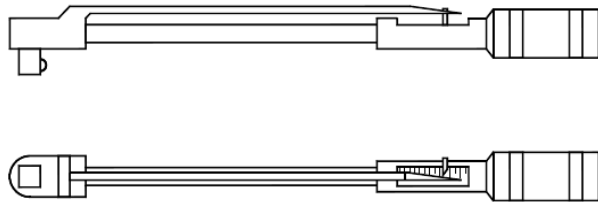


Figura 15. Torcometros de llave, barra de flexión, ajustable, graduada.

3.4 CALIBRACIÓN²²

3.4.1 DISPOSITIVO DE CALIBRACIÓN

La incertidumbre máxima permisible de la medición del dispositivo de calibración debe ser $\pm 1 \%$ del valor indicado. La incertidumbre de la medición se debe calcular de acuerdo con la GTC 51 (*Guide for Evaluation of Uncertainty of Measurement*) con un factor de cobertura $k = 2$.

El dispositivo de calibración se debe ajustar a cero antes de comenzar la calibración.

3.4.2 TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN

La calibración se debe llevar a cabo a una temperatura que fluctúa en máximo ± 1 °C. Esta temperatura debe estar en el intervalo de 18 °C a 28 °C (humedad relativa máxima 90 %) y se debe documentar.

3.4.3 CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

3.4.3.1 Antes de la calibración, es necesario cerciorarse de que:

- a) Los dispositivos de calibración están orientados de acuerdo con las Figuras 14 o 15.
- b) Los torcómetros del Tipo I con escala o comparador de carátula, la dirección de lectura es vertical a la escala o comparador de carátula (compensación de paralaje).
- c) Para torcómetros indicadores del Tipo I: antes de realizar el ensayo de acuerdo con el numeral 6.4, se ha de realizar una precarga hasta el valor máximo, en la dirección de operación que se va a ensayar y después de liberar la carga, el puntero o indicador electrónico debe ser puesto a cero. Para realizar el ensayo en cualquier otra dirección de operación, este procedimiento se debe repetir.
- d) Para torcómetros ajustable del Tipo II: antes de realizar el ensayo de acuerdo con el numeral 6.4 de la norma Ntc 5330, se han realizado 5 accionamientos sin medición al valor máximo (capacidad nominal del torcómetro) en la dirección de

²² NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 5330, Op. cit., p. 6-9.

operación que se va a ensayar. Para realizar el ensayo en cualquier otra dirección de operación, este procedimiento se debe repetir.

e) La fuerza de operación, F , se aplica dentro de los límites especificados en las Figuras 14 y 15, en el centro de la posición manual del punto de agarre o punto de carga marcado.

Los torcómetros Tipo I se deben cargar en el dispositivo de calibración con fuerza incremental hasta que el torcómetro indique el valor de torsión respectivo. Los torcómetros ajustables de Tipo II se deben cargar en el dispositivo de calibración con una fuerza incremental de hasta el 80 % aproximadamente del respectivo valor de torsión elegido. Desde el 80 % hasta el final del valor de torsión elegido, la carga se debe aplicar lenta y uniformemente durante un período de 0,5 s a 4 s.

Si para torcómetros del Tipo I el valor a ser medido ha sido excedido, esta etapa de calibración se debe repetir desde la posición cero.

Los torcómetros Tipo II, excepto las de Clase B y E, se deben ajustar al valor de ensayo respectivo, comenzando desde el valor más bajo.

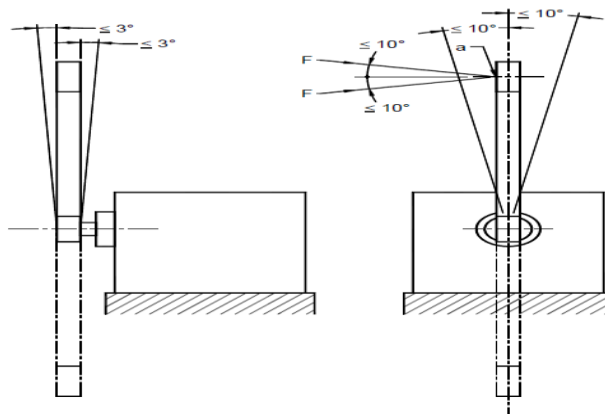


Figura 14. Ensayo de una llave en posición vertical.

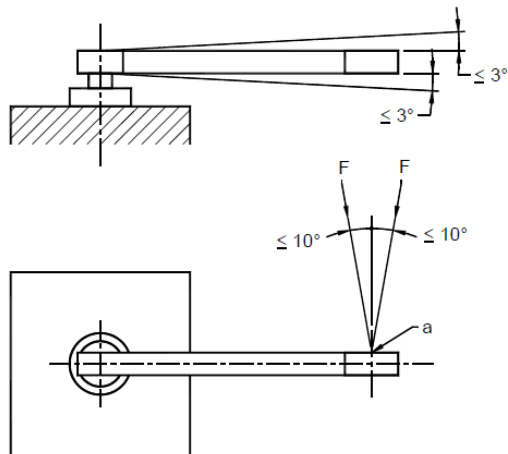


Figura 15. Ensayo de una llave en posición horizontal.

3.5 SECUENCIA DE CALIBRACIÓN²³

Los torcómetros se deben ensayar primero al 20 % y luego aproximadamente al 60 % y al 100 % del valor máximo de torsión (o al valor nominal/ajustado para herramientas de Tipo II, Clases B y E) de los torcómetros.

Si la marca de la escala del 20 % del valor máximo de torsión no está indicada en el torcómetro, la desviación permisible se debe determinar en la siguiente marca inferior de la escala.

En cada dirección de operación el número de mediciones debe ser como sigue:

- Tipo I, todas las clases 5 veces en una fila, para cada punto de medición.
- Tipo II, Clases A, D y G 5 veces en una fila, para cada punto de medición.
- Tipo II, Clases B y E 5 veces al valor nominal/ ajustado.
- Tipo II, Clases C y F 10 veces en una fila, para cada punto de medición.

²³ NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 5330, Op. cit., p. 10.

3.6 TRANSMISION DE POTENCIA²⁴

Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina. Son parte fundamental de los elementos u órganos de una máquina, muchas veces clasificados como uno de los dos subgrupos fundamentales de estos elementos de transmisión y elementos de sujeción.

En la gran mayoría de los casos, estas transmisiones se realizan a través de elementos rotantes, ya que la transmisión de energía por rotación ocupa mucho menos espacio que aquella por traslación. Una transmisión mecánica es una forma de intercambiar energía mecánica distinta a las transmisiones neumáticas o hidráulicas, ya que para ejercer su función emplea el movimiento de cuerpos sólidos, como lo son los engranajes y las correas de transmisión.

Típicamente, la transmisión cambia la velocidad de rotación de un eje de entrada, lo que resulta en una velocidad de salida diferente. En la vida diaria se asocian habitualmente las transmisiones con los automóviles. En general, las transmisiones reducen una rotación inadecuada, de alta velocidad y bajo par motor, del eje de salida del impulsor primario a una velocidad más baja con par de giro más alto, o a la inversa.

3.6.1 Tipos de Reducción de Potencia²⁵

3.6.1.1 Engranajes helicoidales

- **De ejes paralelos.** Se emplea para transmitir movimiento o fuerzas entre ejes paralelos, pueden ser considerados como compuesto por un número infinito de engranajes rectos de pequeño espesor escalonado, el resultado será que cada diente está inclinado a lo largo de la cara como una hélice cilíndrica.

- **De ejes cruzados.** Son la forma más simple de los engranajes cuyas flechas no se interceptan teniendo una acción conjugada (puede considerárseles como

²⁴ Transmisión Mecánica. [En línea]. [Consultado 14 de Marzo de 2014]. Disponible en < http://es.wikipedia.org/wiki/Transmisi%C3%B3n_mec%C3%A1nica >.

²⁵ Tipos de Reducción. [En línea]. [Consultado 16 de Abril de 2014]. Disponible en < <http://www.apys.com.ar/datosutiles/tiposdereducion.html> >.

engranajes sinfín no envolventes), la acción consiste primordialmente en una acción de tornillo o de cuña.

- **Doble.** Los engranajes "espina de pescado" son una combinación de hélice derecha e izquierda. El empuje axial que absorben los apoyos o cojinetes de los engranajes helicoidales es una desventaja de ellos y ésta se elimina por la reacción del empuje igual y opuesto de una rama simétrica de un engrane helicoidal doble.

Un miembro del juego de engranes "espina de pescado" debe ser apto para absorber la carga axial de tal forma que impida las carga excesivas en el diente provocadas por la disparidad de las dos mitades del engranaje.

Un engrane de doble hélice sufre únicamente la mitad del error de deslizamiento que el de una sola hélice o del engranaje recto.

3.6.1.2 Corona y sin fin

- **Sin fin y corona.** Es un mecanismo diseñado para transmitir grandes esfuerzos, y como reductores de velocidad aumentando la potencia de transmisión. En las construcciones de mayor calidad la corona está fabricada de bronce y el tornillo sin fin, de acero templado con el fin de reducir el rozamiento. Este mecanismo si transmite grandes esfuerzos es necesario que esté muy bien lubricado para matizar los desgastes por fricción. El número de entradas de un tornillo sin fin suele ser de una a ocho. Los datos de cálculo de estos engranajes están en prontuarios de mecanizado.

- **Glóbcicos.** Con el fin de convertir el punto de contacto en una línea de contacto y así distribuir mejor la fuerza a transmitir, se suelen fabricar tornillos sin fin que engranan con una corona glóbica. Otra forma de distribuir la fuerza a transmitir es utilizar como corona una rueda helicoidal y hacer el tornillo sin fin glóbico, de esta manera se consigue aumentar los números de dientes que están en contacto.

3.6.1.3 Cónicos

- **Cónicos.** Transmiten el movimiento entre ejes perpendiculares. Se fabrican a partir de un tronco de cono, formándose los dientes por fresado de su superficie

exterior. Estos dientes pueden ser rectos, helicoidales o curvos. Esta familia de engranajes soluciona la transmisión entre ejes que se cortan y que se cruzan. Los datos de cálculos de estos engranajes están en prontuarios específicos de mecanizado.

- **De dientes rectos.** Efectúan la transmisión de movimiento de ejes que se cortan en un mismo plano, generalmente en ángulo recto, por medio de superficies cónicas dentadas. Los dientes convergen en el punto de intersección de los ejes. Son utilizados para efectuar reducción de velocidad con ejes en 90°. Estos engranajes generan más ruido que los engranajes cónicos helicoidales. Se utilizan en transmisiones antiguas y lentas. En la actualidad se usan muy poco.

- **Helicoidales.** Se utilizan para reducir la velocidad en un eje de 90°. La diferencia con el cónico recto es que posee una mayor superficie de contacto. Es de un funcionamiento relativamente silencioso. Además pueden transmitir el movimiento de ejes que se corten. Los datos constructivos de estos engranajes se encuentran en prontuarios técnicos de mecanizado. Se mecanizan en fresadoras especiales.

- **Hipoide.** Un engranaje hipoide es un grupo de engranajes cónicos helicoidales formados por un piñón reductor de pocos dientes y una rueda de muchos dientes, que se instala principalmente en los vehículos industriales que tienen la tracción en los ejes traseros. Tiene la ventaja de ser muy adecuado para las carrocerías de tipo bajo, ganando así mucha estabilidad el vehículo. Por otra parte la disposición helicoidal del dentado permite un mayor contacto de los dientes del piñón con los de la corona, obteniéndose mayor robustez en la transmisión. Su mecanizado es muy complicado y se utilizan para ello máquinas talladoras especiales (Gleason).

3.7 ¿qué es automatización?²⁶

La **automatización industrial** (*automatización*: del griego antiguo *auto*, 'guiado por uno mismo') es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales. Como una disciplina de la ingeniería más amplia que un sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de

²⁶ Automatización Industrial. [En línea]. [Consultado 3 de Abril de 2014]. Disponible en < http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_industrial >.

datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar, controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

3.7.1 La automatización y el cuerpo humano

Existen muchos trabajos donde no existe riesgo inmediato de la automatización. Ningún dispositivo ha sido inventado que pueda competir contra el ojo humano para la precisión y certeza en muchas tareas; tampoco el oído humano. El más inútil de los seres humanos puede identificar y distinguir mayor cantidad de esencias que cualquier dispositivo automático. Las habilidades para el patrón de reconocimiento humano, reconocimiento de lenguaje y producción de lenguaje se encuentran más allá de cualquier expectativa de los ingenieros de automatización.

3.7.2 Sistema de control distribuido

Existe un concepto fundamental y muy actual en torno a la automatización industrial y es el de DCS (sistemas de control distribuido). Un sistema de control distribuido está formado por varios niveles de automatización que van desde un mínimo de 3 hasta 5. Los mismos se denominan: nivel de campo (donde se encuentran los sensores y actuadores), nivel de control (donde se encuentran los PLC o las Estaciones de Automatización), nivel de supervisión (donde se encuentran las Estaciones de Operación y los Servidores de Proceso), nivel MES (donde se encuentran PC con softwares especializados para la distribución de toda la información de planta así como la generación de reportes) y el nivel ERP (donde se encuentran igualmente PC con softwares especializados para la planificación y administración de la producción de toda la industria o empresa).

Se utilizan computadoras especializadas y tarjetas de entradas y salidas tanto analógicas como digitales para leer entradas de campo a través de sensores y para genera, a través de su programa, salidas hacia el campo a través de actuadores. Esto conduce para controlar acciones precisas que permitan un control estrecho de cualquier proceso industrial. (Se temía que estos dispositivos fueran vulnerables al error del año 2000, con consecuencias catastróficas, ya que son tan comunes dentro del mundo de la industria).

4. METODOLOGÍA

Viendo el análisis del proyecto el cual se basa en el diseño de un sistema automatizado para con el facilitar el desplazamiento del punto de carga del banco de para la calibración de torques y con el mejorar el entorno de la variable de par torsional de la empresa Pinzuar Ltda. Para llevar una secuencia adecuada debemos escoger un modelo que nos permita manejar en orden el desarrollo del proyecto. La guía que vamos a usar es el DDSE (diseño, Definición, selección y la escogencia), ya que cada una de estas hace parte de las fases para desarrollar y obtener con éxito el proyecto.

La metodología será desarrollada teniendo en cuenta las fases de la guía DDSE las cuales se explicaran una a una a continuación:

- **Fase de Diseño:** La fase de diseño que se realizará se basa en la consideración de varios parámetros que serán analizados a fin de reunir con ello gran número de ventajas en el desempeño del banco de par torsional y lograr el objetivo de la mejora del punto de carga y controlar con ello la velocidad de desplazamiento. El modelo propuesto con sus diferentes fases Teniendo presente cada uno de los criterios del modelo de diseño, estructuramos la ejecución del proyecto de la siguiente manera:
 - Se aborda cada componente del mecanismo por separado.
 - Se selecciona el material de dicho componente.
 - Se menciona el proceso de obtención o manufactura de la materia prima que conforma dicho componente.
 - Se estipula el proceso de fabricación o montaje con el cual se desarrolla el correspondiente componente.
 - Se calculan las variables por las cuales el componente cumple los criterios de diseño.
- **Fase de Definición:** En esta fase se involucra todos los conocimientos que tienen que ver con la parte metrológica y el análisis de la variable de par torsional. Por otra parte se involucra la norma NTC 5330 "*Herramientas de ensamble para tornillos y tuercas, torcómetros manuales (herramienta manual de par torsional), requisitos y métodos de ensayo para la determinación de la conformidad del diseño, la calidad y para el procedimiento de recalibración*", donde se muestran todos los conceptos, definiciones y tipos de torcometros que se pueden calibrar.
- **Fase de Selección:** La fase de selección se basa en obtener un sistema que nos permita el desplazamiento del punto de carga con facilidad, para

ello analizaremos los tipos de transmisión de potencia que se utilizan en industria. Para seleccionar el sistema adecuado tendremos en cuenta las siguientes parámetros:

- Modulo que permita variar velocidades.
 - La cantidad de potencia requerida por el mecanismo.
 - El Material de los componentes del mecanismo de transmisión de potencia.
 - Los módulos antivibratorios.
 - Lubricación y mantenimiento factible.
-
- **Fase de Escogencia:** En esta fase nos limitamos a simular nuestro mecanismo con el punto de carga ya automatizado en un software de programación, que nos permite programar y nos ayuda a simular el funcionamiento del dispositivo. Con estos tipo de software podemos analizar muchas variables entre ellas la de la velocidad contra el tiempo, la cual se mostrara al montar un torcometro en el banco de par torsional, donde posteriormente se le aplica una carga adecuada y en esta se empieza a simular gráficamente el comportamiento que tiene el torcometro al variarle la velocidad.

5. CRONOGRAMA

Tabla 7. Cronograma de actividades

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1. FASE DE DISEÑO	23 días	lun 03/03/14	vie 04/04/14
1.1. Identificación de los componentes del mecanismo, del punto de carga del banco de par torsional.	5 días	lun 03/03/14	vie 07/03/14
1.2. Análisis del mecanismo, cada parte por separado.	8 día	lun 10/03/14	mié 19/03/14
1.3. Simulación del punto de carga del banco de par torsional en el programa de diseño, para analizar el desplazamiento y la forma de aplicación de la carga a los torcometros.	10 días	vie 21/03/14	vie 04/04/14
2. FASE DE DEFINICIÓN	21 días	lun 07/04/14	vie 14/05/14
2.1. Conceptualización de la capacitación recibida por la empresa CEPTIS S.A. De Par Torsional y sus aplicaciones.	6 días	lun 07/04/14	lun 14/04/14
2.2. Desarrollo y análisis de la norma NTC 5330 para la calibración de los torcometros.	8 días	lun 21/04/14	mié 30/04/14
2.3. Evaluación de las definiciones de metrología para llevar una secuencia del trabajo de la calibración.	4 días	lun 05/05/14	jue 08/05/14
2.4. Selección de los tipos de torcometros que podemos calibrar en el banco de par torsional.	3 días	lun 12/05/14	mié 14/05/14
3. FASE DE SELECCIÓN	28 días	vie 16/05/14	jue 03/07/14
3.1. Análisis de los tipos de mecanismos que sirven para transmitir potencia.	8 días	vie 16/05/14	mar 27/05/14
3.2. Desarrollo de los planos del sistema de transmisión de potencia seleccionado para el mecanismo.	12 días	vie 30/05/14	mar 17/06/14
3.3. Montaje del mecanismo de transmisión de potencia que vamos a usar para el desplazamiento del punto de carga del banco de par torsional en el programa de diseño.	5 días	jue 19/06/14	jue 26/06/14
3.4. Simulación del movimiento del mecanismo de transmisión de potencia del banco de par torsional utilizando el programa de diseño.	3 días	mar 01/07/14	jue 03/07/14
4. FASE DE ESCOGENCIA	32 días	lun 07/07/14	vie 22/08/14
4.1. Selección de un tipo de software de programación que nos permita simular los torcometros en el banco de par torsional.	2 días	lun 07/07/14	mar 08/07/14
4.2. Simulación en el software de programación el montaje de varios torcometros de diferentes rangos y tipos en el banco de par torsional, para analizar el comportamiento de cada uno a diferentes velocidades.	20 días	jue 10/07/14	mié 06/08/14
4.3. Análisis de la velocidad vs el tiempo de las gráficas de los torcometros analizados en el software de programación.	10 días	vie 08/08/14	vie 22/08/14

6. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

Las tablas de presupuesto que se presentan a continuación, nos muestran que la empresa Pinzuar Ltda., hará una inversión del 94%, y el 6% restante será por parte del tutor quien nos asesorara para el desarrollo y mejora de la variable de par torsional.

A continuación se especifican los diferentes recursos y su costo asociado para la realización del proyecto:

Tabla 8. Presupuesto de materiales

Generales	Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Total
Materiales para el Sistema de Automatización	Motor reductor 3600 rpm (0.5 o1 hp)	hp	1	\$350,000	\$350,000
	Sensores capacitivos	Und	2	\$60,000	\$120,000
	Sensores inductivos.	Und	2	\$50,000	\$100,000
	Variadores de velocidad (220 ver A 2 fase) tipo: Yaskawa, Danfoss.	Und	1	\$451,800	\$451,800
	PLC+ Pantalla de control.	Und	1	\$1,250,000	\$1,250,000
	Armario eléctrico.	Und	1	\$350,000	\$350,000
	Totalizador eléctrico 10 amp.	A	1	\$130,000	\$130,000
	Guardamotor.	Und	1	\$200,000	\$200,000
	Borneras eléctricas.	Und	15	\$50,000	\$1,250,000
	Fuente de 24v De 2 Amp.	A	1	\$365,000	\$365,000
	Breaker de 1 Amp.	A	2	\$60,000	\$120,000
Impresión documentos y fotocopias	Documentos del tema, planos del banco de torque etc.	Und	100	\$100	\$10,000
Transporte	Desplazamiento a la Empresa Pinzuar Ltda.	Und	240	\$1.600	\$384,000
Internet	Búsqueda de información para el diseño y la automatización.	Und	30	\$1,000	\$30,000
Computador	Equipo programación.	Und	2	\$ 1.400.000	\$2,800.000
Software	Solidworks y Labview.	Und	2	\$250,000	\$500.000
TOTAL					\$8,410,800

Tabla 9. Presupuesto del recurso humano

Investigador/ experto/auxiliar	Formación académica	Función dentro del proyecto	Dedicación Horas/Mes	Valor personal
Autor del proyecto	Estudiantes de ingeniería	Ejecutor	60	\$ 1.900.000
Autor del proyecto	Estudiantes de ingeniería	Ejecutor	60	\$ 1.900.000
Docente tutor	Ingeniería Mecánico	Asesorar	16	\$ 1.300.000
Apoyo en montajes y en Control	Ingeniero en Control	Asesorar	16	\$ 1.200.000
TOTAL				\$6,300.000

Tabla 10. Presupuesto general del proyecto y fuente de financiación

DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL	FUENTES DE FINANCIACIÓN
Autores del proyecto	\$ 3.800.000	Empresa Pinzuar Ltda.
Tutor	\$ 1.300.000	Institucional
Tutor de Control	\$ 1.200.000	Empresa Pinzuar Ltda.
Equipos	\$ 2.800.000	Empresa Pinzuar Ltda.
Software (Solidworks y Labview.)	\$500.000	Empresa Pinzuar Ltda.
Materiales para el Sistema de Automatización	\$4,696,800	Empresa Pinzuar Ltda.
Transportes	\$384.000	Empresa Pinzuar Ltda.
Internet	\$30.000	Empresa Pinzuar Ltda.
Subtotal	\$14,710,800	
Imprevistos (3 %)	\$441,324.00	
Total presupuesto	\$15,152,124	
Duración estimada en meses	6	
Semanas	24	

7. BIBLIOGRAFÍA

CEM. Laboratorio de Par de Torsión. [En línea]. [Consultado 2 de Febrero de 2014]. Disponible en < <http://www.cem.es/cem/estructura-del-cem/%C3%A1rea-de-masa/laboratorio-de-par-de-torsi%C3%B3n> >.

OIML, Organización Internacional de Metrología Legal. [En línea]. [Consultado 14 de Marzo de 2014]. < <http://es.scribd.com/doc/42378256/Que-es-la-OIML> >.

ARIAS, JUAN. CURSO DE PAR TORSIONAL [Diapositivas]. Bogotá, Superintendencia de Industria y Comercio. 2011. 38 Diapositivas. Col.

Norma técnica NTC colombiana 5330. HERRAMIENTAS DE ENSAMBLE PARA TORNILLOS Y TUERCAS. TORCÓMETROS MANUALES (HERRAMIENTA MANUAL DE PAR TORSIONAL). REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONFORMIDAD DEL DISEÑO, LA CALIDAD Y PARA EL PROCEDIMIENTO DE RECALIBRACIÓN. Colombia. Icontec. 2005

TRANSMISIÓN MECÁNICA. [En línea]. [Consultado 14 de Marzo de 2014]. Disponible en < http://es.wikipedia.org/wiki/Transmisi%C3%B3n_mec%C3%A1nica >.

MOTT ROBER L. (2004). Diseño de Elementos de Maquinas. (Cuarta Edición). México. 2006.

¹ ONAC, Organismo Nacional de Acreditación de Colombia. [En línea]. [Consultado 28 de Marzo de 2014]. < <http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=252> >.

ALVARENGA RIVAS MIRNA ELIZABETH BENAVIDES AVILES, MARIO ALFREDO; propuesta para el diseño del instrumento calibrador de torquímetros o llaves dinamométricas en las empresas industriales de el salvador, op. cit., p. 95.

STELLA M. P. DOMINGUES, JOSÉ L. F. MARTINS, RAFAEL S. DE OLIVEIRA Y RODRIGO F. GUILHERME, Laboratorio de Ensayos Mecánicos, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Federal Fluminense (LEM/UFF) Principales Características de un Sistema de Calibración de Torquímetros, *Información Tecnológica Vol. - 21 N° 4 – 2010*.

Norma UNE-EN ISO 6789:2004 (ISO 6789: 2003): “Herramientas de maniobra para tornillos y tuercas. Herramientas dinamométricas manuales. Requisitos y métodos de ensayo para verificar la conformidad del diseño, de la calidad y del procedimiento de recalibración”

ME-004. Procedimiento para la calibración de llaves dinamométricas. CEMMINER. Edición 1. 1999.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA, PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE HERRAMIENTAS DINAMOMÉTRICAS, Op, p 11.

Guía para la expresión de la Incertidumbre de Medida, Versión Española, Edición 1 del CEM.

Guía EA-4/02, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration.

ING. JUAN ALBERTO ARIAS PRIETO, Curso de par torsional, Superintendencia de industria y comercio, Mayo de 2011

JOSEPH SHIGLEY & CHARLES R. MISCHKE. Diseño de Ingeniería Mecánica Quinta Edición. McGraw Hill.2005.

Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, Decreto No. 2269 de 1993”. [En línea] Disponible: <http://www.sic.gov.co>. Consultado el 25 de Marzo de 2014.

G. Arango. (1998, Jun.). "Informe de la Gestoría de Ciencia y Tecnología de Risaralda a la Comisión Regional de Ciencia y Tecnología del Noroccidente Colombiano". Gestoría de Ciencia y Tecnología de Risaralda. Pereira, Risaralda. Junio 1998.

Red Regional de Normalización, Certificación y Metrología para el Eje Cafetero. "Formato para la presentación de proyectos de capacitación y de competitividad y desarrollo tecnológico productivo". SENA. Manizales.1998.

F. Becerra. "Estudio de oferta de servicios de laboratorios de pruebas y ensayos y de metrología en el Eje Cafetero (Caldas-Risaralda-Quindío)". Eje Cafetero (Caldas, Quindío y Risaralda), 2002, p. 13.

M. Porter. "Ventaja competitiva de las naciones". Ed. Buenos Aires: Vergara, 1991.

COLLINS, J., Empresas que sobresalen, Bogotá, Grupo editorial Norma, 2008, p 397.

Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e innovación (en línea), disponible en: www.colciencias.gov.co.

Sistema interamericano de Metrología (en línea): <http://simmetrologia.org.br/spanol/index.php> . Consultado: 12 de Mayo de 2014.

Universidad escuela de Administración de negocios: Emprendimiento, Gestión y Mejoramiento Empresarial, Bogotá, 2008, p 162.

ABNT NBR 12240, "Materiais metálicos – Calibração e classificação de instrumentos de medição de torque", Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2000.

ABNT NBR ISO/IEC 17025, "Requisitos Gerais para Competência de Laboratorios de Ensaio e Calibração", Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005).

Atlas Copco Products, [fecha de consulta 15 Abril 2014], [En línea] www.directindustry.com.

Catálogo Productos Gedore, [fecha de consulta 15 Abril 2014], www.gedore.com.br.

Cruz, V.A., “Sistema de Gestión de la Calidad en el Apoyo a la Implementación de Estrategias de Producción Ajustada”, Información Tecnológica-Vol. 15 N°6-2004, págs.: 63-70.

L. Llamosa. “Aspectos metrológicos básicos para la acreditación de un laboratorio de patronamiento eléctrico”. Ed. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2005, p. 1.

ICONTEC. [Online]. Disponible en: <http://www.icontec.org.co>. 2006, Ago.

ICONTEC. “Norma Internacional NTC ISO/IEC 17025. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”. Oct, 2005.

