



Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo

ISSN: 1665-7381

fjso@servidor.unam.mx

Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica

México

Domínguez Gómez, Alberto Alfonso; Wojcik Filipek, Jozef; Cruz Morales, Miguel Ángel
Medición de la fuerza de apriete en un ensamble, utilizando tornillo autorroscante
Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo, vol. 2, núm. 2, 2006, pp. 53-62
Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76820203>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Medición de la fuerza de apriete en un ensamble, utilizando tornillo autorroscante

Alberto Alfonso Domínguez Gómez, Jozef Wojcik Filipek y Miguel Ángel Cruz Morales*

Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM),

*Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

En este artículo se presenta una metodología para medir la tensión en un tornillo autorroscante, instrumentado con galgas extensiométricas. Así mismo, se describen las ventajas y desventajas que se pueden presentar al momento de realizar la prueba, basada en dicha metodología.

Esta metodología ayudará a dar una mejor referencia del comportamiento de estos tornillos en una unión, así como el evitar diseños de mala calidad, propiciando un ahorro de tiempo y costo en la industria.

ABSTRACT

This article is describing advantages and disadvantages that may become present at the moment of performance utilizing self-threading screws, instrumented with strain gages. At the present time, there is no method or technical paper which describes any process to measure the tension load in assemblies that utilize self threading screw attachments, which makes it difficult to know if the validated torque provides the necessary clamp load for the assembly, specially in critical joints.

Obtaining a process to measure the bolt tension with these screws and strain gages, will help in giving a better reference to the behavior of these screws in the joints, so as to avoid bad quality designs, propitiating savings in time and cost.

GLOSARIO

Tornillo autorroscante (*Selftapping screw*). Tornillo que genera su propia cuerda en el barreno de la pieza de ensamble o en tuercas soldadas sin rosca, esto al momento de ser atornillado. El barreno debe tener cierto diámetro, dependiendo del tipo de tornillo autorroscante a utilizar, material y geometría del componente y porcentaje de penetración de la cuerda. Comercialmente ya existen tablas, las cuales definen todas estas características.

Por lo general, este tipo de tornillos no requieren de una tuerca roscada.

Fuerza de apriete (*Clamping force*). Es la fuerza que el tornillo ejerce sobre el ensamble, con la finalidad de mantener a los componentes del ensamble unidos.

Par de apriete (*Torque*). Es un esfuerzo torsional o de giro que se aplica a un tornillo o tuerca al momento de apretar, generalmente medido en Newton-metro (Nm) o libras pie (lb-ft).

El par de apriete es una magnitud de fuerza y distancia, referida a la fuerza de apriete. El par de apriete es una manera de asignar la tensión en el tornillo a través de un valor numérico dado en Nm o lb-ft. Este puede ser dinámico o estático.

Tensión (*Tension*). La tensión en un tornillo es muy similar a la fuerza de apriete. Al momento de apretar un tornillo, este responde como si fuera un resorte en tensión y el ensamble como un resorte a compresión. La tensión es directamente proporcional a la cantidad de energía contenida en el tornillo.

Galga extensiométrica (*Strain gage*). Es un dispositivo en el cual su resistencia eléctrica varía en proporción a la deformación de este. La galga extensiométrica consiste de un alambre muy fino o una hoja metálica bastante delgada. Comercialmente se encuentran disponibles con valores de resistencia nominal de 30 a 3000 ohms, siendo los mas comunes 120, 350 y 1000 ohms.

NOMENCLATURA

F_p	Tensión en el tornillo [N]
T	Par de apriete [Nm]
μ	Coefficiente de fricción
D	Diámetro del tornillo [mm]
L	Carga [N]
C	Constante

INTRODUCCIÓN

Los sujetadores roscados fijan de manera semi-permanente los diferentes componen- tes de un ensamble en una determinada posición. Derivado de las cargas de servicio en un ensamble, existen dos tipos de uniones con tornillos [Bickford, 1995].

- **Unión a tensión.** La fuerza que actúa en el ensamble es paralela al eje del tornillo.
- **Unión a cortante.** La fuerza en el ensamble se presenta perpendicular al eje del tornillo.

Generalmente un tornillo trabaja como si éste fuera un resorte rígido. Cuando alguno de los sujetadores, tuerca o tornillo, es apretado, el tornillo tiende a elongarse cierta cantidad. Esta elongación es medida por la deformación que sufre el tornillo en el apriete, produciendo el esfuerzo a la tensión y por lo tanto desarrollando la fuerza de apriete, medida en Newtons. En un ensamble convencional tornillo-tuerca, gran cantidad de esta fuerza se utiliza en vencer la fricción producida al entrar en contacto la cuerda del tornillo y la tuerca, así como la cabeza del tornillo o la tuerca con la superficie del elemento a apretar. Dado que la fricción es, por definición, una resistencia al movimiento relativo, es necesario mantener la unión sin que se presente pérdida en la fuerza de apriete o algún tipo de relajamiento. Dada la presencia de la resistencia a la fricción entre la cuerda del tornillo y la cuerda de la tuerca al apretar cualquier elemento de éstos, se induce un esfuerzo torsional, es decir, una torsión interna en el tornillo.

Esta fuerza torsional llamada par de apriete T , se expresa generalmente en Nm.

Existe una relación par de apriete-tensión en el tornillo, la cual describe el porcentaje en que el par de apriete aplicado a un ensamble convencional tornillo-tuerca se distribuye, quedando esta distribución de la siguiente manera [Bickford, 1995], figura 1:

- 50% del par de apriete vence la fricción entre la superficie del sujetador roscado con la superficie del elemento apretado.
- 40% del par de apriete vence la fricción existente entre las cuerdas del tornillo y la tuerca.
- 10% del par de apriete elonga o tensa el tornillo.

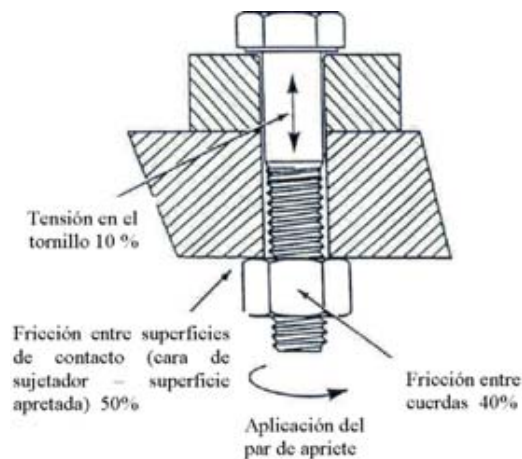


Figura 1. Distribución del par de apriete entre cuerdas.

La relación de distribución de par de apriete mostrada anteriormente, se deriva de un análisis teórico y experimental, en el cual se determina que la relación par de apriete aplicado y tensión en el tornillo tiende a ser una relación lineal, como se muestra en la figura 2 [Bickford, 1995]. En otras palabras,

$$T = F_p \times C \quad (1)$$

Efecto generado por el par de apriete sobre el esfuerzo a la tensión.

Al apretar un tornillo con una herramienta eléctrica o neumática y graficar la curva esfuerzo-deformación del comportamiento de éste, figura 3, se aprecia cómo el punto de cedencia (A) es menor al que podría presentarse en un ensayo de tensión sobre el tornillo.

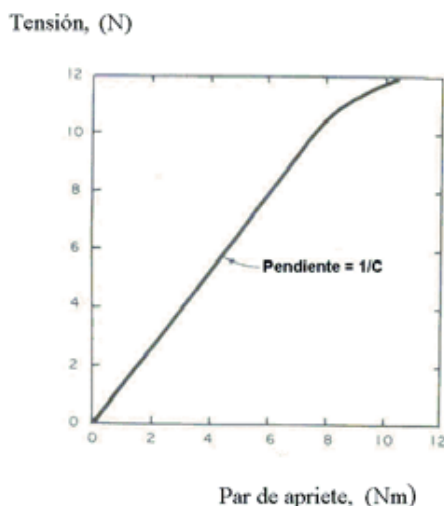


Figura 2. Relación normal entre par de apriete aplicado (T) y tensión en el tornillo al apretar (F_p).

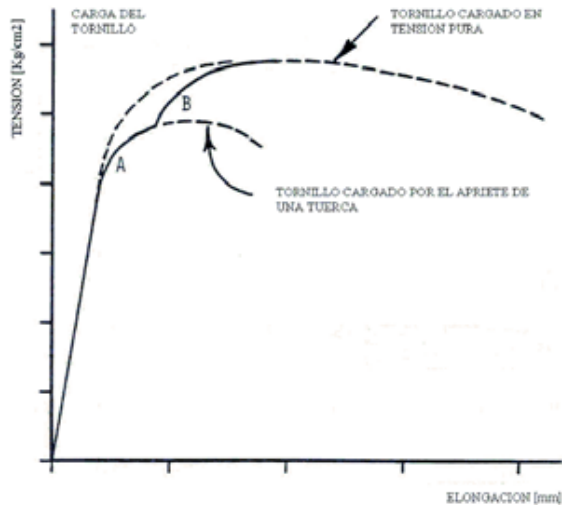


Figura 3. Diagrama del comportamiento de un tornillo 7/8-16 A325, en un ensamble de espesor de 104.77 mm

Esto se debe básicamente a que en un apriete con herramienta existe tensión y torsión al mismo tiempo, de cualquier manera, el mismo tornillo es capaz de soportar una mayor fuerza de tensión en servicio antes de presentar el punto de cedencia (B) dado que la torsión usualmente desaparece de manera instantánea después del apriete [Bickford, 1995].

Determinación de especificaciones Par de Apriete-Tensión.

Generalmente la determinación de un par de apriete se realiza a través de pruebas en laboratorio utilizando diferentes métodos, dependiendo del tipo de prueba y resultados a obtener. Estos métodos de prueba han ido evolucionando con el paso del tiempo y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Existen diversos métodos de medición, los cuales han sido de utilidad en la industria para determinar específicamente pares de apriete y tensiones en ensambles productivos, algunos de estos métodos son:

- Comparación de nuevos ensambles con respecto a ensambles productivos o actuales.
- Cálculos matemáticos.
- Medición de la elongación de un tornillo productivo o actual.
- Determinación de la falla en el tornillo productivo o actual.
- Realización de pruebas par de apriete-tensión sobre el ensamble, con equipo especial.

Los métodos listados anteriormente, suelen tener diferentes condiciones las cuales hacen un tanto difícil encontrar el par de apriete y la tensión correcta para cada ensamble, por

a) Comparación de nuevos ensambles con respecto a ensambles productivos o actuales.

Al aplicar una especificación actual del par de apriete a un nuevo diseño resulta ser adecuado siempre y cuando el ensamble y la carga dinámica resulten ser idénticas. De cualquier manera, por pequeña que sea la diferencia en el ensamble (acabado, condiciones de la superficie o material entre otras), podría causar un cambio en las condiciones de fricción y por consiguiente cambiar el valor del par de apriete.

b) Cálculos matemáticos.

Mediante la fórmula

$$T = \mu DL \text{ [Nm]} \quad (2)$$

se asume que el par de apriete es el resultado del coeficiente de fricción por el diámetro del tornillo por la carga. Esta relación es válida sabiendo que las condiciones del coeficiente de fricción son las mismas, lo cual desafortunadamente depende de muchas variables que pueden cambiar este coeficiente y no brindar siempre un resultado confiable.

c) Medición de la elongación de un tornillo productivo o actual.

La elongación en un tornillo a través de máquinas universales no es normalmente muy práctico para determinar el par de apriete. Una partícula de polvo o una excesiva presión en micrómetros puede afectar enormemente los resultados del ensayo.

d) Determinación de la falla en el tornillo productivo o actual.

Apertando un tornillo para llevarlo a condición de falla, a pesar de parecer algo sencillo, requiere del uso de tornillos con un mínimo en diámetro y dureza para demostrar la peor condición, lo cual resulta difícil de obtener.

e) Realización de pruebas par de apriete-tensión sobre el ensamble, con equipo especial.

Un método para obtener una buena relación par de apriete-tensión en un tornillo, es probando el ensamble a manera de representar éste como se hace directamente en la línea de producción, pero con la instrumentación de galgas extensiométricas en los tornillos. En este tipo de pruebas, ningún componente del ensamble a probar debe ser utilizado más de una vez y entre mayor sea el número de ensambles a probar se obtienen mejores resultados.

Los tornillos instrumentados por galgas extensiométricas resultan ser prácticos y confiables. La presencia de galgas extensiométricas no altera las características del ensamble, lo cual suele suceder con las celdas de carga. Después de realizar la prueba, se procede a condensar los resultados de manera estadística, considerando las condiciones máximas y mínimas, así como las muestras que caen dentro de este intervalo.

Con estos resultados, se determina el valor del par de apriete que satisfaga las necesidades del ensamble, es decir, la mínima fuerza de apriete requerida en el ensamble para mantener la fuerza de sujeción en los componentes sin llegar a deformaciones plásticas debido a un apriete en exceso o contrariamente a esto, obteniendo ensambles los cuales pierdan la fuerza de sujeción por falta de fuerza de apriete. En otras palabras, considerando la unión en condiciones de servicio u operación real y la máxima fuerza de apriete sin que ésta llegue o pase el punto de cedencia del ensamble. Estas especificaciones resultan ser la combinación del par de apriete, la tensión en el tornillo y la capacidad de la herramienta para lograr esto.

Tornillos Autorroscantes.

Los tornillos autorroscantes se caracterizan por generar su propia cuerda al momento de ser atornillados, es decir, no requieren de algún elemento adicional como la tuerca, simplemente uno de los componentes del ensamble es barrenado y el tornillo autorroscante realizará la cuerda sobre este barreno. Figura 4.

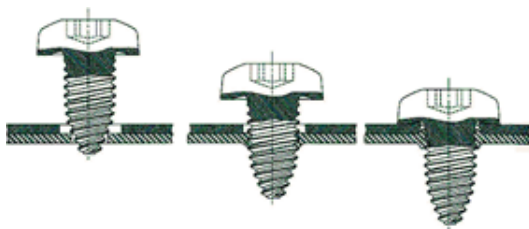


Figura 4. Tornillo autorroscante, generando su propia cuerda.

El objetivo principal de la generación de este tipo de tornillos fue reducir costos y operaciones en los ensambles. Al utilizar este tipo de tornillos se elimina la tuerca de un ensamble tradicional tornillo-tuerca; logrando así, la eliminación de números de parte en planta, reducción de costos por inventario y manejo, y la optimización de operaciones en la línea de ensamble, reflejándose finalmente en el costo.

Usos de Tornillos Autorroscantes.

En general, el uso de tornillos autorroscantes puede ser de gran beneficio para la industria, sin embargo, si el tornillo no es seleccionado correctamente para la aplicación o no se consideran los parámetros más importantes como diámetro de barreno, materiales, espesores y velocidad de la herramienta, en lugar de ser una ventaja para las plantas de ensamble, podrían ser un gran potencial de fallas y re-trabajos, los cuales en lugar de brindar beneficios económicos, se traducirían en pérdidas y mala calidad del producto.

JUSTIFICACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO.

De una investigación bibliográfica realizada sobre el tema, se encontró que no existe procedimiento o documento técnico el cual describa el proceso para medir la fuerza de tensión en ensambles con tornillos autorroscantes, lo que dificulta saber si el par de apriete validado provee la fuerza de apriete necesaria para el óptimo desempeño del ensamble, especialmente en uniones críticas.

Diversos Ingenieros de Sujeciones, en el área automotriz, en los Estados Unidos [Llamadas telefónicas], caían en versiones contradictorias sobre la posibilidad de medir la fuerza de tensión en un tornillo autorroscante, algunos mencionaban que por no existir tuerca, la medición de tensión en el tornillo autorroscante se perdía por efecto de la fricción al momento de generar las cuerdas, mientras que otros aseguraban que sí se podía. Finalmente, no existe hoy en día documento alguno que determine esto. Seguramente los fabricantes de este tipo de tornillos han realizado pruebas similares a las de este estudio, sin embargo, no ha sido publicado este tipo de información.

SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA FUERZA DE APRIETE DE UN TORNILLO.

Al momento de realizar un ensamble a través de elementos roscados, la principal característica que se busca es la fuerza de apriete brindada por el tornillo. Las galgas extensiométricas en compañía de otros sofisticados equipos, como transductores de par de apriete y sistemas recolectores de datos, puede ser uno de los métodos más precisos para medir la tensión en un tornillo. Éstas medirán la deformación en un cierto punto de la superficie del elemento, por lo que se debe tener cuidado en cuanto a la localización de éstas. Además de obtener la tensión en el tornillo, se tiene la capacidad de medir esfuerzos de deformación o torsión, dependiendo del tipo de galga extensiométrica que se utilice.

Cuando un tornillo es instrumentado apropiadamente, se puede decir que la precisión en la medida de la tensión en el tornillo puede ser del ± 1 ó 2% [Bickford, 1995].

En el caso de la instrumentación de tornillos en donde se desea conocer la deformación de éstos al momento de ser apretados, la galga extensiométrica debe ser colocada con sus hilos paralelos al eje del tornillo. Al momento de apretar el tornillo, éste sufre una elongación la cual producirá variaciones en la geometría del hilo del extensímetro que originarán una variación de su resistencia; por lo tanto disponiendo de instrumentos capaces de medir las pequeñas variaciones de resistencia original del extensímetro, se puede conocer la deformación mecánica del tornillo [Olivares, 1999].

Con propósitos de experimentación, se seleccionó un tornillo M12x1.75x30, considerando que este es utilizado en un ensamble crítico de tipo funcional, es autorroscante y tiene buen tamaño para ser instrumentado con galgas extensiométricas sin presentar mucha dificultad, figura 5.



Figura 5. Tornillo autorroscante instrumentado con galgas extensiométricas.

En todo ensamble existen variables que pueden afectar la integridad de éste, dentro de estas variables se pueden considerar como las más importantes [Domínguez, 2004]: el material de los elementos a sujetar, el acabado superficial, la velocidad de apriete y las dimensiones de barreno especialmente para ensambles con tornillo autorroscante. La principal característica que se varió en este estudio, fue la dureza de los materiales, ya que ésta es un parámetro importante a considerar en este tipo de ensambles, especialmente por la deformación que se lleva a cabo en el componente que trabaja como tuerca al momento en que el tornillo forma la cuerda.

Las placas de acero que formarán el ensamble, se determinaron de tres diferentes aceros: acero de bajo carbono (SAE 1018), acero de medio carbono (SAE 1045) y acero de alto carbono (SAE 1060).

Prueba Par de Apriete-Tensión-Ángulo a Falla.

La prueba par de apriete-tensión-ángulo a falla, consiste en realizar el apriete en un ensamble totalmente nuevo, es decir, los componentes de éste se encuentren en estado productivo. Con esta prueba se determina la relación entre el par de apriete máximo que puede soportar el ensamble, así como la tensión del tornillo, la cual se considera como la fuerza de apriete que se genera en la unión al momento de que el tornillo comienza a apretar a los componentes del ensamble. Esta prueba puede realizarse de dos maneras:

a) *Falla de algún componente del ensamble.* En este tipo de prueba se aprieta el tornillo hasta que algún componente del ensamble falle, considerándose como falla la fractura del tornillo o de alguno de los componentes, la presencia de deformación plástica en algún componente del ensamble o la distorsión de las cuerdas hasta llegar al barrido.

b) *Apretar por arriba del límite elástico máximo (10% adicional).* En este tipo de prueba, los tornillos instrumentados con galgas extensiométricas son sometidos a cargas de tensión y compresión, de tal manera que las galgas extensiométricas son programadas con un 10% de esfuerzo por encima del

límite máximo elástico del tornillo, de tal manera que no se requiere llevarlos a falla. La ventaja de este método es poder continuar con el monitoreo de la tensión en el tornillo. El valor del límite elástico máximo del tornillo, de acuerdo al grado (10.9) y al tamaño (M12), es de 70 kN (Blendulf, 2004).

La prueba evaluada en este trabajo, se realizó siguiendo el esquema de falla, con el propósito de monitorear todo el comportamiento del ensamble a través de las gráficas, hasta que alguno de sus componentes falló.

Componentes y equipo para realizar la prueba.

Las características consideradas para la realización de la prueba Par de apriete-Tensión-Ángulo, son las siguientes:

- Tornillo:* M12x1.75x30
Acero calmado SAE 4037
Recubrimiento Sn-Zn
Tipo TAPTITE 2000
- Placa A:* Acero SAE 1018, 1045
76.2x76.2x9.53 mm
Diámetro barreno 14 mm
Sin recubrimiento.
- Placa B:* Acero SAE 1018, 1045, 1060
76.2x76.2x12.70 mm
Diámetro barreno 11.03 mm,
recomendación de proveedor
[REMINC, 2002].
- Herramienta:* Tipo eléctrica
Velocidad de 150 rpm
- Equipo:* Transductor Par de apriete -
Ángulo
Tacómetro
- Sistema recolector de datos:* MC911

Para las pruebas, se identifica como placa A, la placa superior y como placa B, la placa inferior en la cual el tornillo realizará la cuerda, figura 6.

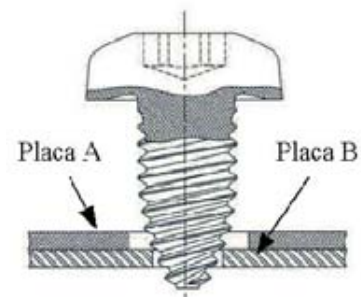


Figura 6. Identificación de placas para la prueba.

Preparación de prueba.

La preparación de la prueba requiere del seguimiento de los siguientes puntos:

- Los tornillos y placas a probar deben estar en condiciones productivas, sin haber sufrido alguna variación o modificación física, a excepción de la instrumentación de la galga extensiométrica en el tornillo.

- En caso de presentarse alguna variación en los componentes de la prueba con respecto a lo indicado por especificación, deberá ser documentado, ya que esto pudiera afectar el resultado de la prueba.

- Las partes se revisarán conforme a dibujo o especificación de manera física.

- El ensamble como tal se fijará en una mesa ranurada, evitándose el movimiento de éste durante el apriete.

- Se seleccionará el transductor de par de apriete y herramienta adecuados para la realización de la prueba.

Esto se hace tomando como referencia el tamaño del tornillo, el valor del par de apriete que se estime aplicar y el tipo de herramienta que planta este utilizando para ese ensamble, ya sea eléctrica o neumática. El valor del transductor de par de apriete debe ser mayor al par de apriete aplicado, esto con la finalidad de no dañar el transductor.

- Se configurará el sistema recolector de datos de acuerdo al transductor seleccionado y se calibrará de acuerdo al valor de calibración de cada tornillo y del transductor de par de apriete.

- Se alineará y sujetará la herramienta y transductor al eje del tornillo, evitando la presencia de alguna carga lateral.

- Se tomarán fotografías del arreglo antes de efectuar la prueba.

- Se medirá la velocidad de la herramienta (RPMs).

- Se anotarán todos los resultados, así como las observaciones presentadas en cada prueba.

Finalmente, se determinará el valor del par de apriete a través del análisis de los resultados.

Desarrollo de pruebas Par de apriete-Tensión-Ángulo a falla.

Al tener la instrumentación adecuada, figura 7, se realizan las pruebas, obteniéndose las gráficas Par de Apriete-Ángulo y Par de apriete-Tensión, las cuales muestran el comportamiento del ensamble de acuerdo a sus características. Las siguientes gráficas muestran dicho comportamiento de acuerdo al tipo de acero utilizado. Gráficas 1 a 6.

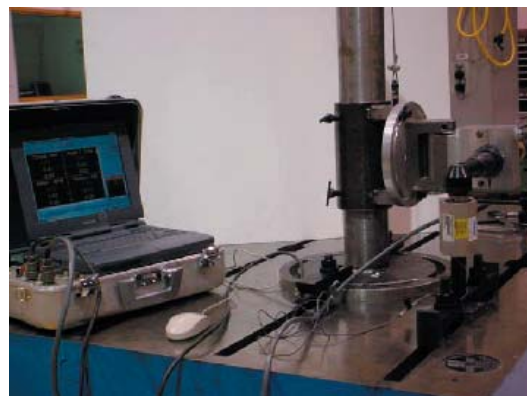


Figura 7. Instrumentación de prueba a tensión.

Al analizar las gráficas obtenidas en la prueba Par de Apriete-Ángulo a falla, se observan los siguientes puntos:

- La dureza de las placas es un factor muy importante en el ensamble de este tipo de tornillos. El par de apriete máximo alcanzado en los ensambles se mantiene en un promedio de 190 Nm, sin embargo, el par de apriete que varía es el máximo requerido para la generación de la cuerda, teniendo los siguientes valores:

Placa acero	SAE 1018	46.31 Nm
Placa acero	SAE 1045	55.18 Nm
Placa acero	SAE 1060	71.48 Nm

- La velocidad de la herramienta varía de acuerdo a la dureza de las placas, principalmente en las placas de acero SAE 1060 se presentó una disminución del 10% en las rpm's. Esto debido al incremento de fricción entre el tornillo y la placa, consecuencia de la dureza de ésta misma.

- Las gráficas correspondientes a las pruebas realizadas con acero SAE 1045, muestran un comportamiento muy similar a las del acero SAE 1018, pero en particular, ningún tornillo se fracturó y en todos los casos la herramienta se detuvo. Esto se puede atribuir a que la superficie de la placa de acero SAE 1045 tenía mayor dureza y otro acabado superficial diferente a la placa SAE 1018. Figura 8.

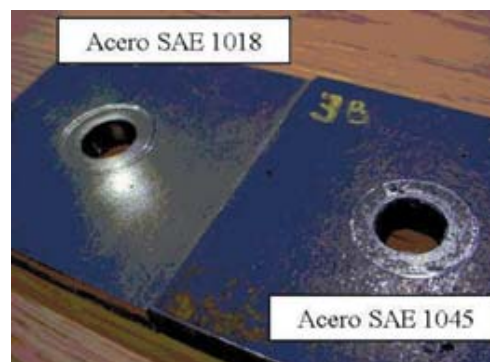
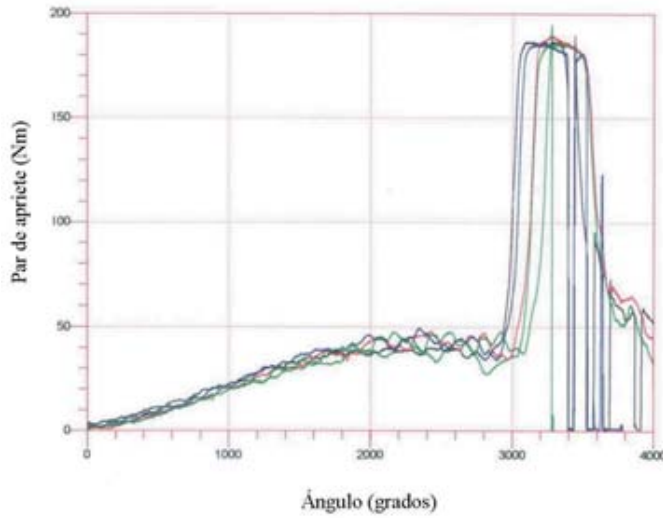
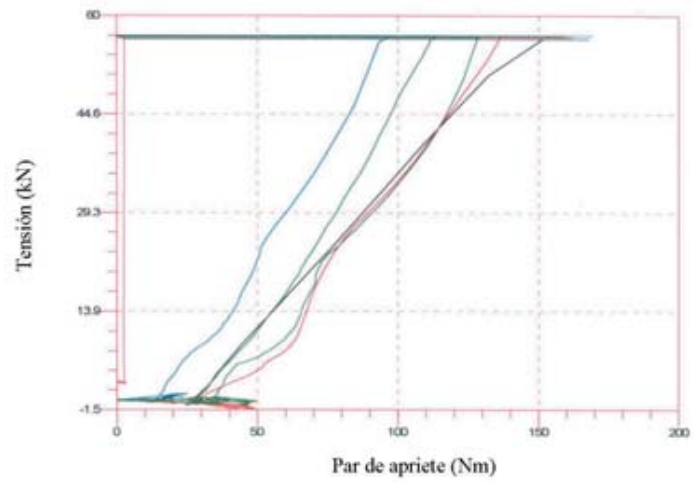


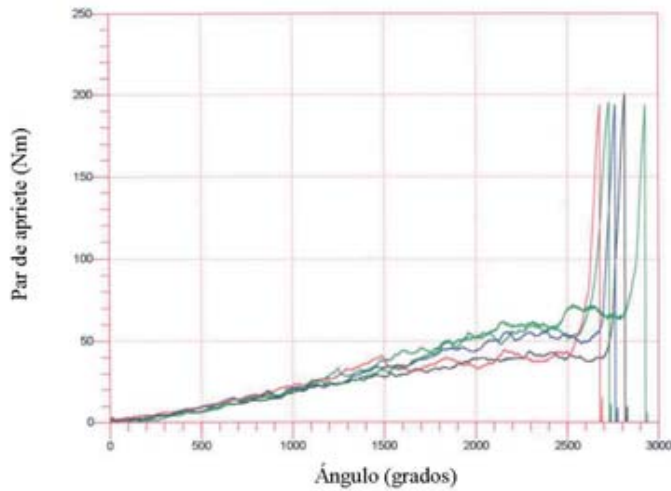
Figura 8. Acabado superficial entre acero SAE 1018 y acero SAE 1045



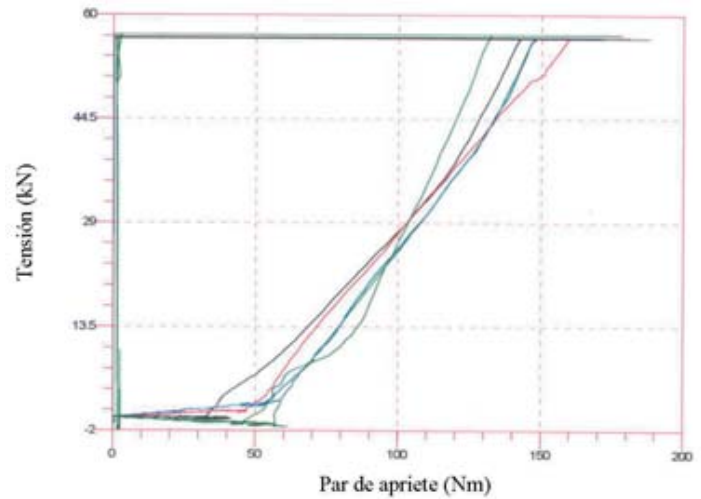
Gráfica 1. Par de Apriete-Ángulo, acero SAE 1018 (placa A y placa B).



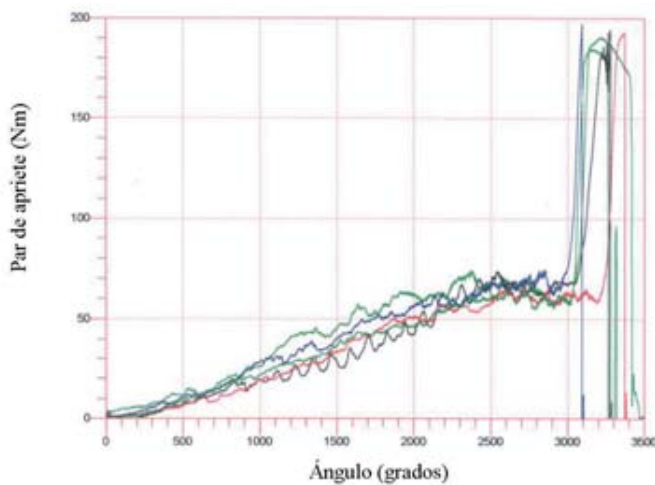
Gráfica 4. Tensión-Par de Apriete, acero SAE 1018 (placa A y placa B).



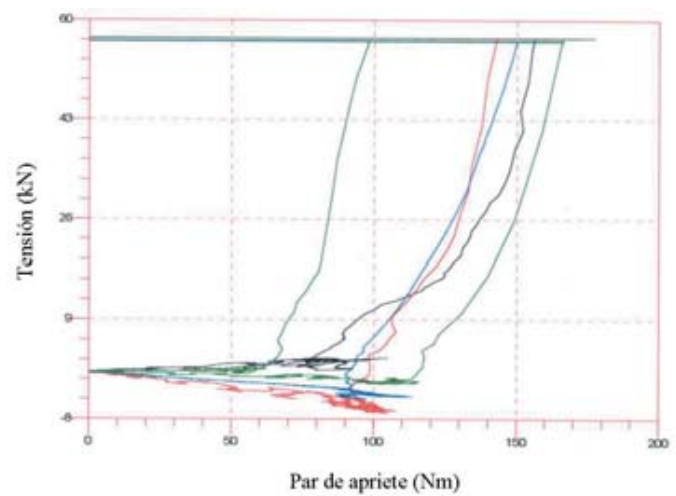
Gráfica 2. Par de Apriete-Ángulo, acero SAE 1045 (placa A y placa B).



Gráfica 5. Tensión-Par de Apriete, acero SAE 1045 (placa A y placa B).



Gráfica 3. Par de Apriete-Ángulo, acero SAE 1018 (placa A) y acero SAE 1060 (placa B).



Gráfica 6. Par de Apriete-Ángulo, acero SAE 1018 (placa A) y acero SAE 1060 (placa B).

De las pruebas de Par de apriete–Tensión–Ángulo a falla realizadas, se pueden mencionar los siguientes puntos:

- En un ensamble en el que se utilice tornillo autorroscante, sí se puede obtener la tensión en éste. A pesar de haber variado el tipo de acero, se obtuvo tensión en los tres aceros utilizados, SAE 1018, SAE 1045 y SAE 1060.

- En las placas de acero SAE 1060, se presentó un excedente de fricción al momento en que el tornillo terminaba de generar las cuerdas, lo cual se ve relacionado con el efecto de compresión en lugar de tensión en ese periodo del apriete. Esto se puede atribuir a que la placa de acero SAE 1060, al oponer una mayor resistencia a su penetración, demandó de un mayor par de apriete en ese momento y por ende una disminución en la tensión. Al momento de terminar la generación de cuerdas, se reduce la fricción y con esto se incrementa el par de apriete y la tensión.

- Es muy importante el material sobre el cual el tornillo asienta, así como en el cual se genera la cuerda.

- Los tornillos instrumentados tuvieron la tendencia a fracturarse en la zona en que el tornillo se desbastó para adherir las galgas extensiométricas. Al fracturarse el tornillo se pierde la tensión.

- Considerando que este tipo de tornillo M12x1.75x30, grado 10.9, tiene un límite elástico máximo de 70 kN y que la galga extensiométrica se calibró a 77 kN, no se logró monitorear el comportamiento del ensamble mas allá de 56 kN promedio en los tres tipos de acero, debido a la fractura del tornillo antes de alcanzar su límite elástico máximo, figura 9. Sin embargo, se presentó deformación plástica en un par de apriete promedio de las pruebas. La tabla 1, muestra un resumen de los resultados entre los ensambles hechos con diferente acero.



Figura 9. Fractura de tornillo en acero SAE 1045.

Con la información anterior, se determina que la dureza del material es un factor importante en el valor de la tensión, la cual varía de acuerdo al material y sus características. Así mismo, se obtiene el porcentaje de distribución del par de apriete para la generación de cuerdas en cada tipo de acero, esto basado en los resultados obtenidos en las gráficas correspondientes a cada tipo de ensamble. El porcentaje del par de apriete correspondiente al vencimiento de fricción entre superficies de contacto y tensión en el tornillo, no se puede obtener de manera directa, ya que en las gráficas no se distingue esta información. Figura 10 y tabla 2.

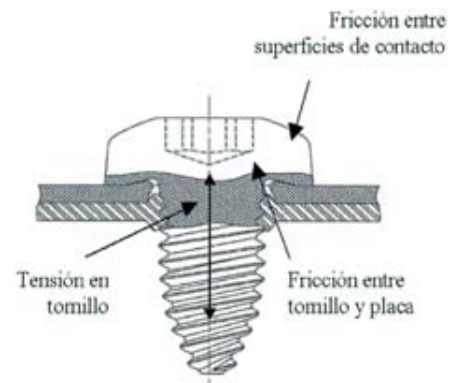


Figura 10. Distribución del par de apriete en ensamble con autorroscante.

TABLA 1. Resumen de resultados.

MATERIAL	PAR DE APRIETE	TENSIÓN	DUREZA
Acero SAE 1018	144.4 Nm	56.76 kN	89.18 HRb
Acero SAE 1045	149.4 Nm	55.46 kN	91.37 HRb
Acero SAE 1060	152.8 Nm	50.50 kN	101.52 HRb

TABLA 2. Porcentaje de distribución de par de apriete.

MATERIAL (PLACA B)	FRICCIÓN ENTRE CUERDAS	FRICCIÓN ENTRE SUPERFICIES / TENSIÓN EN EL TORNILLO
Acero SAE 1018	20%	80%
Acero SAE 1045	28%	72%
Acero SAE 1060	51%	49%

Se aprecia que a mayor dureza de la placa, se tiene una mayor demanda del par de apriete en la generación de las cuerdas. A través de la información obtenida

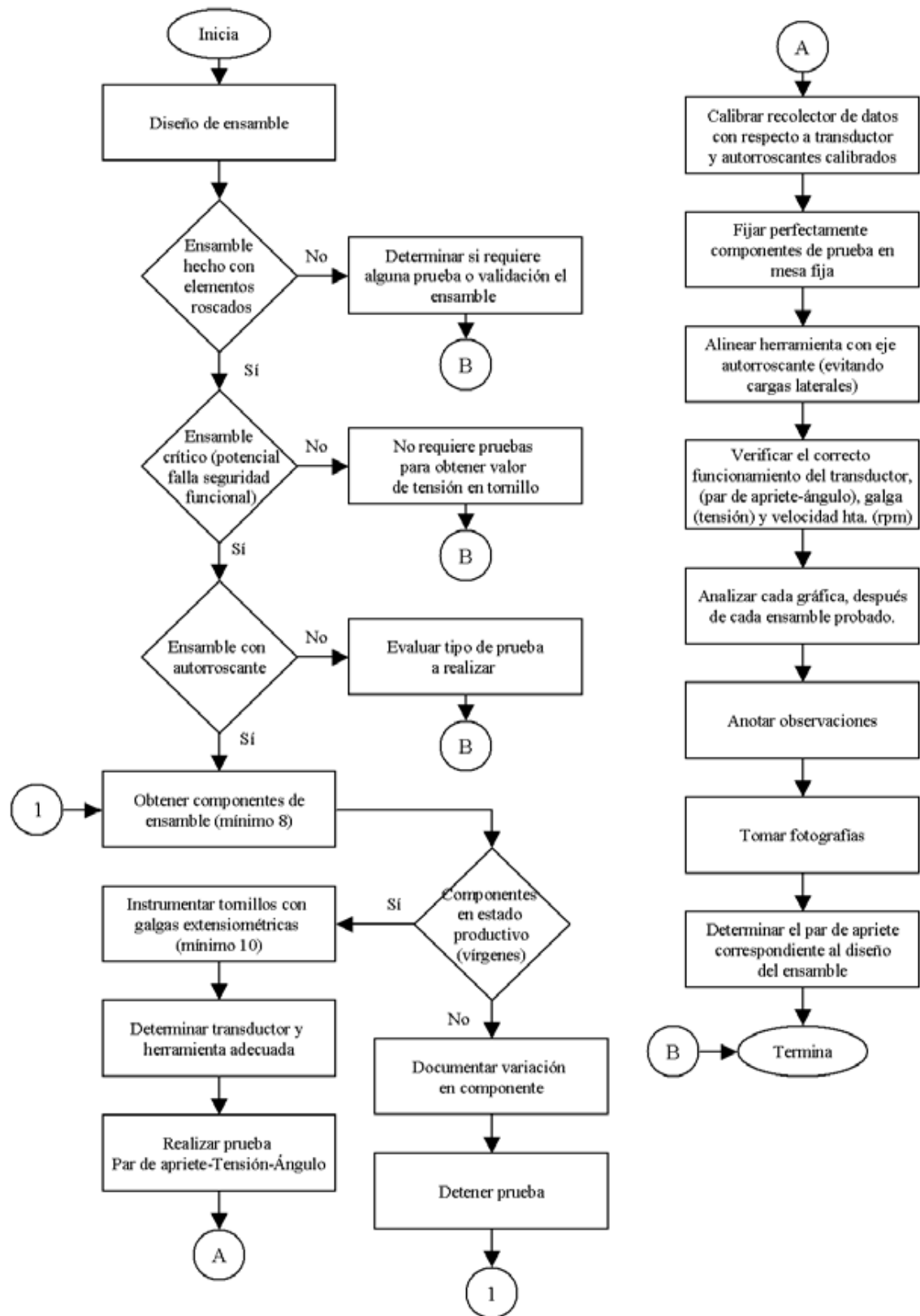


Figura 11. Diagrama de flujo para la medición de la tensión de un tornillo autorroscante.

CONCLUSIONES.

En este caso, se analizó un ensamble diferente al tradicional tornillo-tuerca, utilizando un tornillo autorroscante, el cual permite la eliminación de la tuerca, al ser esta sustituida por una placa barrenada en donde el tornillo genera su propia cuerda.

Este tornillo se instrumenta con una galga extensiométrica con la finalidad de determinar si es posible obtener la tensión en el tornillo al momento de apretarlo y como resultado de pruebas hechas en laboratorio, se concluye de manera particular lo siguiente:

- Sí es posible obtener la fuerza de tensión en un tornillo autorroscante mediante el uso de galgas extensiométricas.

Al obtener la fuerza de tensión en tornillos autorroscantes, se beneficia la industria en cuanto a diseño y ensamble se refiere, ya que se puede determinar la fuerza de apriete requerida para un ensamble, a través de la aplicación de un par de apriete correcto; evitándose así, ensambles que tienden a perder fuerza de apriete por falta de par de apriete o ensambles trasroscados por exceso de par de apriete, representándose esta ventaja en tiempo y costo a favor de la industria.

- Las galgas extensiométricas brindan la ventaja de poder ser instrumentadas en diferentes tamaños de tornillos autorroscantes, facilitando la preparación de la prueba y la calibración del equipo para finalmente dar un resultado exacto. Los inconvenientes que se presentan al utilizar galgas extensiométricas son el costo, ya que el material utilizado en la instrumentación del tornillo, incluyendo las galgas extensiométricas resulta ser muy alto. Por otro lado, se tiene la mano de obra, ya que el proceso de instrumentación es bastante elaborado, especialmente si el tornillo es muy pequeño.

- En ensambles no críticos, en los cuales no existe el riesgo de que por algún mal ensamble se presente una condición insegura o de funcionalidad, no se recomienda obtener la tensión del tornillo, ya que resulta ser un gasto innecesario. A través de la realización de pruebas Par de apriete—Ángulo a falla se puede determinar el comportamiento del ensamble y así obtener el valor del par de apriete ideal.

- Aún se requiere de un mayor número de estudios para determinar el grado de confiabilidad que brinda un tornillo autorroscante, pues en ensambles críticos de seguridad se utilizan mayormente los tradicionales sujetadores tornillo-tuerca.

- La relación par de apriete—tensión varía en cada ensamble dependiendo de la dureza del material y acabado superficial.

- Cuando un ensamble hecho a través de tornillo autorroscante presenta excesiva fricción, es recomendable aplicar al tornillo algún tipo de lubricante en las cuerdas con la finalidad de reducir la pérdida de tensión por fricción.

- A pesar de que otros países han trabajado en el estudio y desarrollo de las uniones, éste trabajo es la llave para abrir muchas variantes de investigación en cuanto a sujeciones se refiere dentro de México, ya que esto permite la generación de tecnología propia de acuerdo a los recursos y necesidades de la industria.

- El uso de tornillos autorroscantes brinda la oportunidad de reducir costos en los diseños y procesos de ensamble. A través de este tipo de estudios se logra obtener la relación Par de apriete—Tensión de acuerdo a las características físicas de los componentes, obteniéndose así el mejor desempeño de este tipo de tornillos.

- Considerando a los elementos sujetadores como parte del diseño de ensamble, se logra optimizar el proceso de producción, lo cual se traduce a reducción de tiempo y costo en la operación.

- Todo ensamble realizado con tornillo autorroscante, presentará diversas variaciones del par de apriete, esto debido básicamente a las condiciones y características del apriete.

- Esto resulta ser una oportunidad de investigación ya que únicamente las grandes compañías realizan aprietes bajo estándares ya establecidos en otros países, sin realizar desarrollo alguno. En muchas ocasiones estos desarrollos no son publicados por cuestiones obvias de negocios.

De manera esquemática, se puede representar la metodología para la medición de la tensión en un tornillo autorroscante, como se aprecia en la Figura 11.

BIBLIOGRAFÍA

- Bickford, John H. *An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints*, Tercera Edición, Marcel Dekker, Inc, 1995. Pág. 4, Pág. 220, Pág. 218, Pág. 341

- Blendulf, Bengt *Fastening Technology & Bolted/Screwed Joint Design*, Quinta Edición, Clemson University, August 2004, Pág. 44

- Olivares Ponce, Alfredo *Taller de Foto elasticidad y Extensometría*, Agosto 1999, México. Pág. 2

- Alberto A. Domínguez Gómez, Alberto Alfonso, *Medición de la Fuerza de Apriete en un Ensamble, por un Tornillo Autorroscante*, Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Pág. 27, Mayo 2004, México

- Diversas personas, *Conversaciones telefónicas y pláticas con expertos en sujeciones*, 2004, Estados Unidos.

- Research Engineering & Manufacturing Inc. *REMINC Catalog*,