

INFORME DE ENSAYO

DEPARTAMENTO: Visión

LABORATORIO:

INFORME Nº: IV070016-03

ENSAYO

**PRUEBAS DE RESISTENCIA MÁXIMA AL
APRIETE DE UNIONES ATORNILLADAS DE
IMPLANTE Y PILAR DINÁMICO**

PETICIONARIO

Empresa: Talladium España
Dirección: Plaça d'Utxesa 7
Ciudad: Lleida
C.P.: 25002
Provincia: Lleida
Telf.: 902101347
Fax:

FECHA DE INICIO: 30/01/2008

FECHA DE FINALIZACIÓN: 5/01/2008

Nº de Anexos:



LABORATORIO:

INFORME DE ENSAYO Nº: IV070016-03

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: IV070016-A

Descripción: Tornillo Pilar Dinámico de métrica M1.4 de cabeza hexagonal de 1.3 mm, Pilar Dinámico e implante

Marcas de identificación existentes: TPD14, PDCO41/T, RPCO

Suministrador de la muestra: Talladium España

Fecha de recepción: 19/10/2007

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: IV070016-B

Descripción: Tornillo Pilar Dinámico de métrica M1.4 de cabeza hexagonal de 1.3 mm, Pilar Dinámico e implante

Marcas de identificación existentes: TPD14, PDCO41/T, RPCO

Suministrador de la muestra: Talladium España

Fecha de recepción: 19/10/2007

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: IV070016-C

Descripción: Tornillo Pilar Dinámico de métrica M1.4 de cabeza hexagonal de 1.3 mm, Pilar Dinámico e implante

Marcas de identificación existentes: TPD14, PDCO41/T, RPCO

Suministrador de la muestra: Talladium España

Fecha de recepción: 19/10/2007

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: IV070016-D

Descripción: Tornillo Pilar Dinámico de métrica M2 cabeza hexagonal de 1.3 mm, Pilar Dinámico e implante

Marcas de identificación existentes: TPD2, PDCO41/T, RPCO

Suministrador de la muestra: Talladium España

Fecha de recepción: 19/10/2007

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: IV070016-E

Descripción: Tornillo Pilar Dinámico de métrica M2 cabeza hexagonal de 1.3 mm, Pilar Dinámico e implante

Marcas de identificación existentes: TPD2, PDCO41/T, RPCO

Suministrador de la muestra: Talladium España

Fecha de recepción: 19/10/2007

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: IV070016-F

Descripción: Tornillo Pilar Dinámico de métrica M2 cabeza hexagonal de 1.3 mm, Pilar Dinámico e implante

Marcas de identificación existentes: TPD2, PDCO41/T, RPCO

Suministrador de la muestra: Talladium España

Fecha de recepción: 19/10/2007



LABORATORIO:

INFORME DE ENSAYO Nº: IV070016-03

A) RESISTENCIA MAXIMA AL APRIETE DE LAS UNIONES ATORNILLADAS

Método de ensayo:

El objetivo del ensayo es cuantificar el par máximo de apriete que puede soportar las uniones atornilladas de implantes dentales con el Pilar Dinámico.

Para ello se somete a un esfuerzo creciente de torsión al tornillo hasta el fallo de la unión. Las medidas de los pares aplicados se realizan mediante un torquímetro, concretamente el modelo HTG2-15 fabricado por IMADA, Inc.

El par se aplica de manera manual y gradual a través de la herramienta aportada por el fabricante de los tornillos. Esta es una punta hexagonal a rótula de diámetro 1.3 mm que se sujeta al instrumento de medición mediante un "portabrocas".

La sujeción fija del implante en vertical se realiza con unas mordazas

El sentido de apriete es horario y se aplica intentado mantener en vertical la herramienta a fin de evitar cualquier angulación de la misma con respecto a la unión.

RESULTADOS:

A continuación se tabulan los resultados registrados en el ensayo:

Muestra	Tornillo	Implante	Pilar	Tmax (N-cm)	Observaciones
A	TPD14	RPCO	PDCO41/T	38	Rotura por la base de la cabeza del tornillo
B	TPD14	RPCO	PDCO41/T	48,6	No rompe. Deformación de la mortaja del tornillo
C	TPD14	RPCO	PDCO41/T	39,7	Rotura por la base de la cabeza del tornillo
D	TPD2	RPUC	PDUCS41/T	51,9	No rompe. Deformación de la mortaja del tornillo
E	TPD2	RPUC	PDUCS41/T	50,9	No rompe. Deformación de la mortaja del tornillo
F	TPD2	RPUC	PDUCS41/T	49,2	No rompe. Deformación de la mortaja del tornillo



LABORATORIO:

INFORME DE ENSAYO Nº: IV070016-03

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:

Los resultados obtenidos cuantifican el par máximo de apriete de la unión formada por el implante, el pilar dinámico y el tornillo.

El apriete de un tornillo se realiza aplicando un par en la cabeza. Un par en sentido horario reduce la distancia entre la cabeza del tornillo y la tuerca. Si se encuentra resistencia (como al sujetar el pilar dinámico), el tornillo continuará girando, hasta que se obtenga un equilibrio entre el par aplicado a la cabeza y el par de reacción del montaje. Tres son las componentes que contribuyen al par de reacción: la fricción entre las roscas coincidentes, la fuerza de sujeción y un par inducido debido a esta fuerza.

Desde el punto de vista de la simulación por elementos finitos, resulta interesante conocer estos esfuerzos que se generan con el apriete, a fin de emplearlos como **datos de partida y aproximar la simulación al fenómeno físico real**.

La relación de equilibrio entre el par aplicado y el par de reacción se suele expresar, matemáticamente, por la ecuación:

$$T = KdF$$

dónde:

T = par.

d = diámetro nominal del tornillo.

F = fuerza inducida o carga de sujeción.

K = una constante empírica, que tiene en cuenta la fricción y el diámetro variable bajo la cabeza y en las roscas donde actúa la fricción (no es el coeficiente de rozamiento, aunque está relacionado con él).

Para determinar la fuerza inducida partimos de la premisa que se alcanzado la resistencia última a tracción (S_{ut}) en la sección del tornillo. El valor de S_{ut} , atendiendo a los valores presentados en el apartado 4.1 del informe IV070016/02, es de 1028 N/mm².

Por tanto, en el caso de las muestras A y C donde **se llega a seccionar el tornillo**, solo parte del valor del esfuerzo aplicado ha sido efectivo para producir dicha rotura. Los valores alcanzados en ambos casos son similares; **38 y 39.7 N·cm**.

Con los valores de par de apriete aplicado, y conocidas las propiedades mecánicas del material del tornillo podemos **estimar la constante K**, y de esta forma **determinar la carga axial que se somete al tornillo para cualquier par de apriete**.

La expresión de que relaciona tensiones con esfuerzos a tracción es:

$$\sigma = k_t \frac{F}{A}$$

donde:

σ = tensión

F = fuerza inducida o carga de sujeción

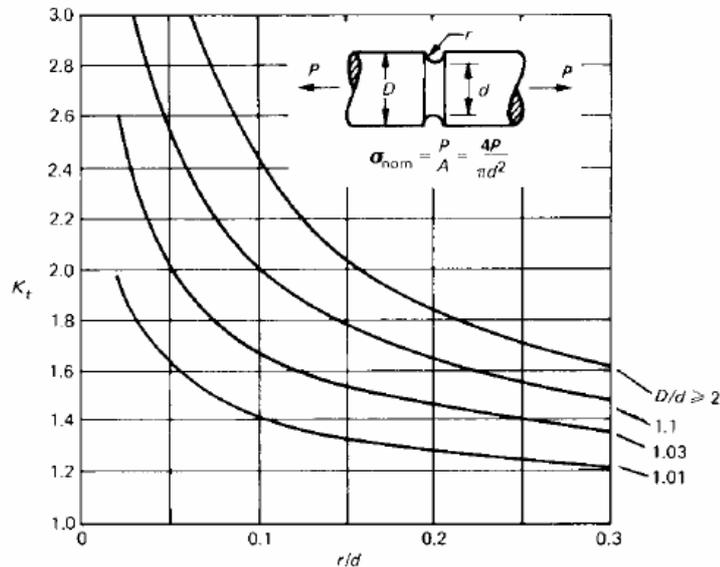
A = sección del tornillo

k_t = coeficiente de concentración de tensiones que depende del tipo de esfuerzo y la geometría (para el TPD14, según la tabla siguiente; $k_t = 3$)



LABORATORIO:

INFORME DE ENSAYO Nº: IV070016-03



Si sustituimos en la anterior expresión la tensión σ por la resistencia última a tracción S_{ut} , obtenemos que para el tornillo TPD14 la fuerza última inducida.

$$S_{ut} = k_t \frac{F}{A} \rightarrow F = \frac{S_{ut} A}{k_t} = \frac{1028 \cdot (\pi \cdot \frac{1.03^2}{4})}{3} \cong 285.52 \text{ N}$$

En la siguiente tabla se muestran los valores estimados del K para los resultados experimentales obtenidos en las muestras que han llegado a la rotura.

Muestra	Par de apriete (N·cm)	Coefficiente K
A	38	0,95
C	39,7	0,99
Media	38,85	0,97

En el caso que consideremos el par de apriete indicado por el fabricante para los TPD14 de 15 N·cm, tenemos que para un valor promedio de $K = 0.97$, la fuerza de sujeción inducida en el tornillo es de:

$$T = K \cdot F \cdot d \rightarrow F = \frac{T}{K \cdot d} = \frac{150}{0.97 \cdot 1.4} \cong 110.46 \text{ N}$$

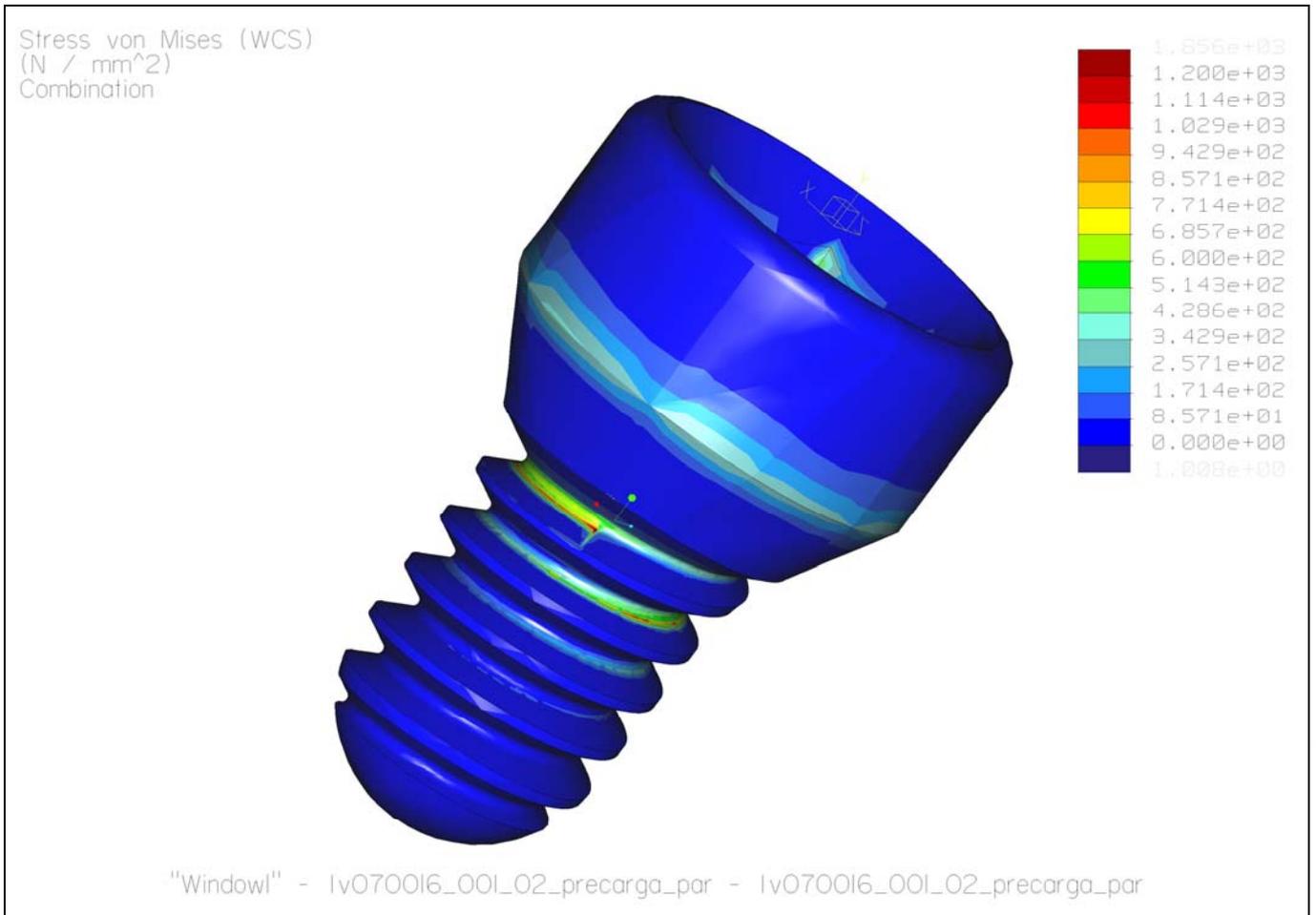
Esta carga es la que **utilizaremos en el análisis por elementos finitos**, junto al par de apriete aplicado. Las restricciones de movimiento en la simulación serán las que corresponden al equilibrio de fuerzas planteado, es decir, esta impedido el giro y desplazamiento vertical en las superficies de la rosca y el giro en la base de la cabeza del tornillo. Las variables anteriores son las únicas que se modifican el análisis, aprovechando la malla, ya refinada en los análisis realizados previamente y descritos en el informe IV070016-02, a fin de obtener una convergencia en los resultados menor al 10%.



LABORATORIO:

INFORME DE ENSAYO Nº: IV070016-03

La distribución de tensiones equivalentes obtenidas para estas condiciones de cargas se muestran en la siguiente imagen, donde se puede observar la **mayor de concentración de tensiones se encuentran en el inicio de la rosca**. Como en los análisis anteriores esta sigue siendo la zona más crítica.

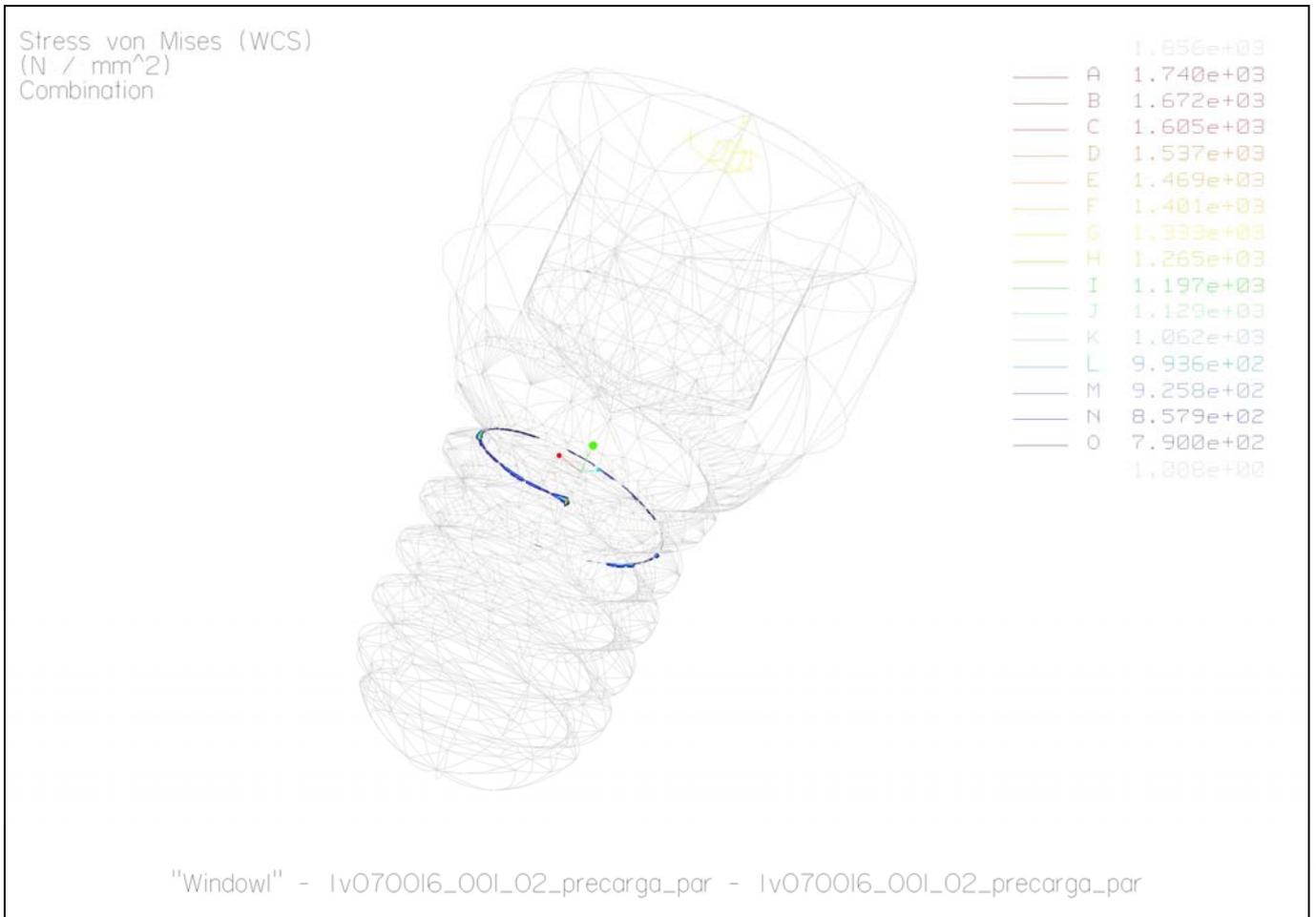


No obstante, si visualizamos únicamente las tensiones resultantes que se encuentren por encima del límite a fluencia del material (790 N/mm²), solo aparecen en pequeñas zonas superficiales.



LABORATORIO:

INFORME DE ENSAYO Nº: IV070016-03





LABORATORIO:

INFORME DE ENSAYO Nº: IV070016-03

CONCLUSIONES

A la vista de los resultados experimentales obtenidos mediante las pruebas realizadas, la estimación a posteriori a partir de estos de los esfuerzos a los que se le somete al tornillo durante su implantación, y el análisis de las tensiones mediante el método de los elementos finitos, podemos concluir que:

- La **divergencia de los resultados con estudios anteriores, concretamente con los expuestos en el informe IV070016-02, es debida a las hipótesis realizadas en cuanto a los esfuerzos por fricción**. La constante K que tiene en cuenta este efecto se calculó con un valor de 0.39 aproximadamente, muy diferente del valor obtenido experimentalmente en las pruebas realizadas ($K = 0.97$). En este supuesto se tomo como característica tribológica del material un coeficiente de rozamiento estático (μ) entre Titanio y Tilito de 0.36, atendiendo a las referencias encontradas en la documentación consultada (http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm). El cálculo de la constante K, relacionada con los coeficientes de fricción (μ), se realizó basándose en las ecuaciones de equilibrio estático, como se indicaba en las guías de diseño y cálculo de uniones atornilladas de la NASA¹ y de la Universidad de Navarra². La expresión teórica según las referencias citadas es:

$$K = \left(\frac{d_m}{2d} \right) \frac{\tan \psi + \mu \sec \alpha}{1 - \mu \tan \psi \sec \alpha} + 0.625\mu_c$$

¹ Fasteners Design Manual. Richard T. Barret, Lewis Research Center, Cleveland (Ohio), NASA Reference Publication 1228.1990.

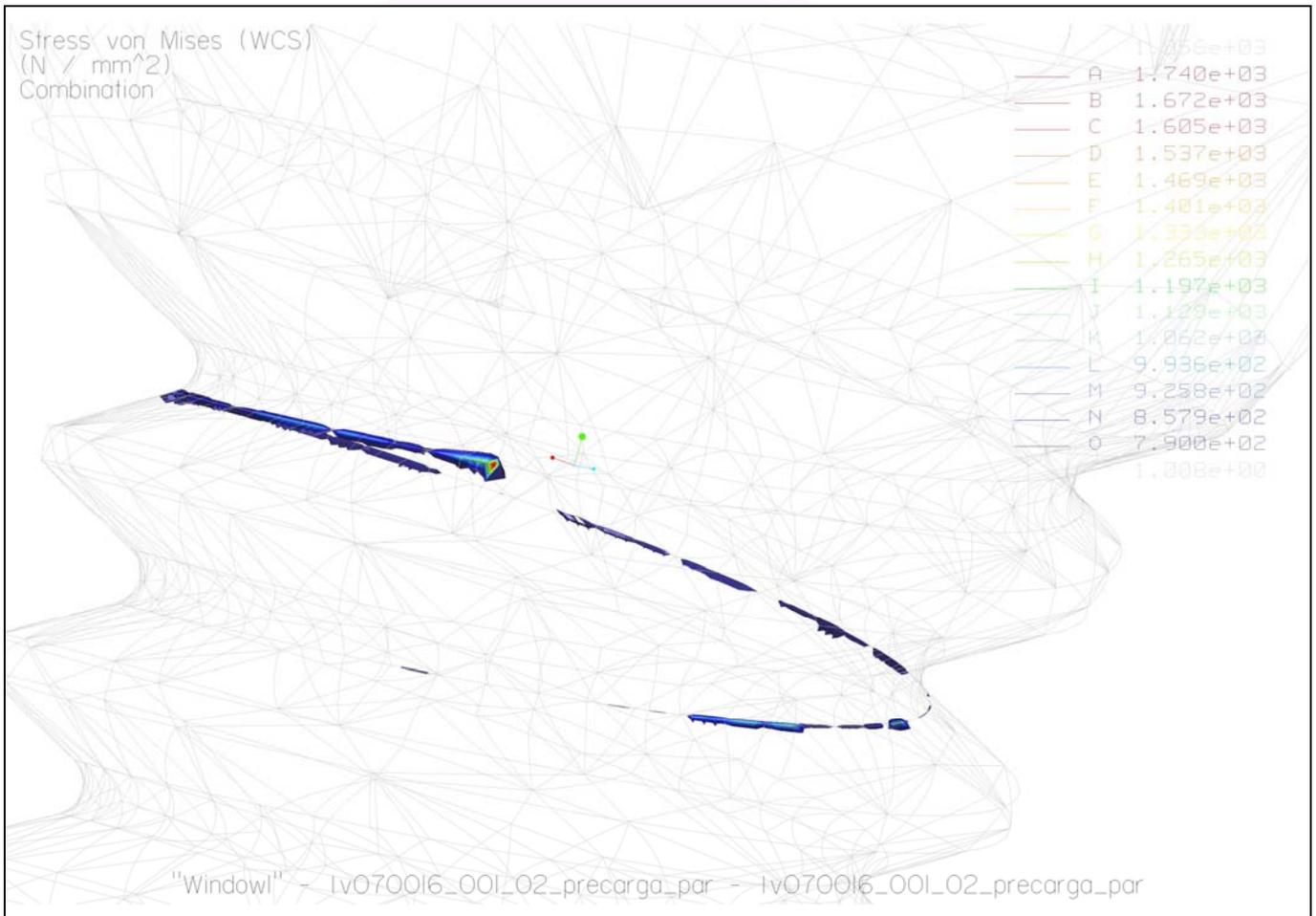
² Tornillos y Uniones Atornilladas. J. Viñolas, tecnun – Campus Tecnológico Universidad de Navarra



LABORATORIO:

INFORME DE ENSAYO Nº: IV070016-03

- El análisis de las tensiones originadas por los nuevos esfuerzos calculados, manifiestan que se encuentran **por debajo del límite elástico del material**, salvo en zonas muy pequeñas de la superficie debidas singularidades propias de las restricciones de desplazamientos impuestas en el modelo de elementos finitos. En la siguiente imagen se puede observar que las zonas coloreadas tienen tensiones superiores al límite elástico (790 N/mm²), pero estas zonas se encuentran justo en los límites donde se han impuesto las restricciones de desplazamiento, y se atribuyen a singularidades del modelo de elementos finitos y no a niveles de tensiones reales.

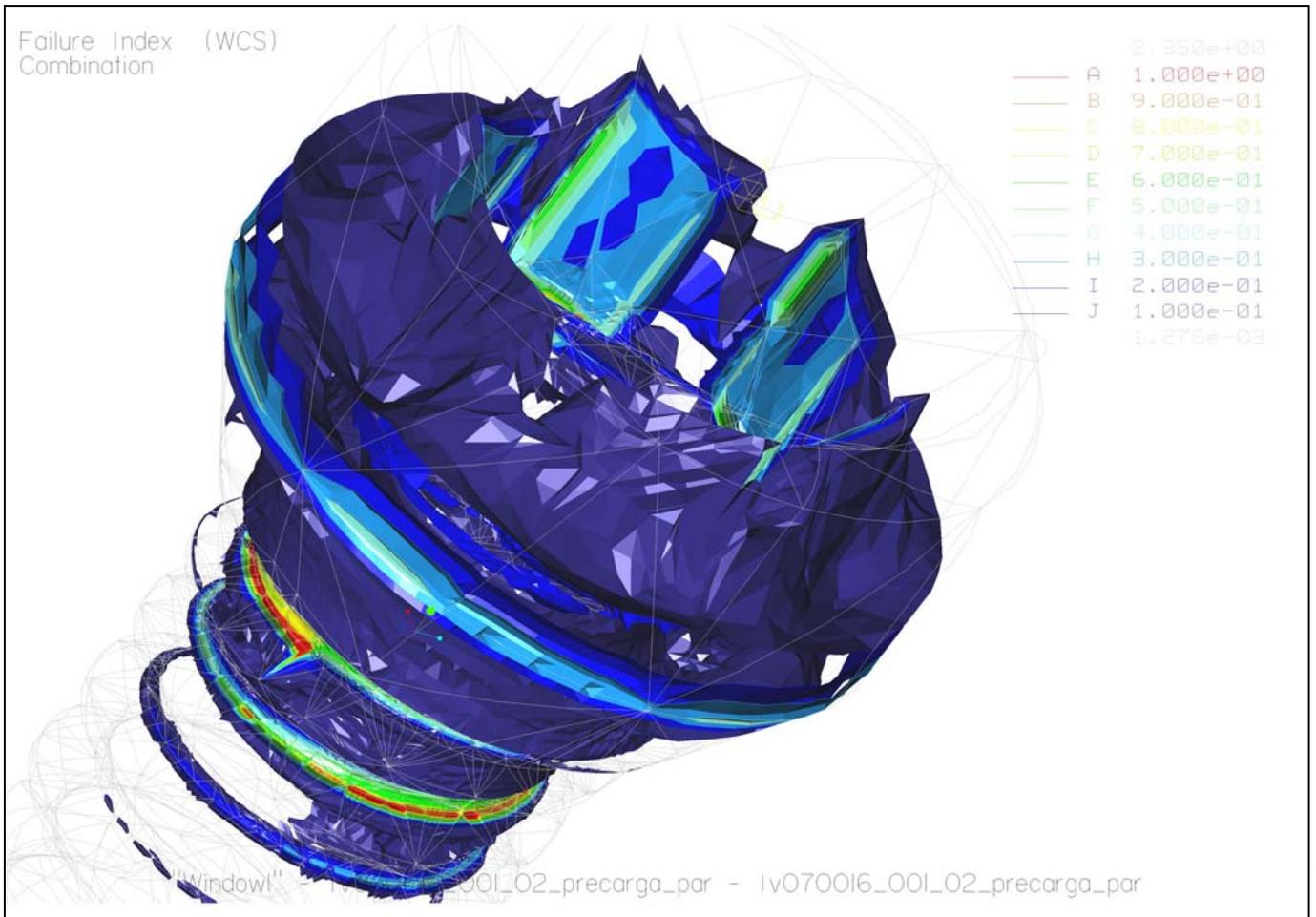


- El índice de fallo para los esfuerzos originados por en el apriete de la unión, descartando las singularidades señalada en el párrafo anterior, se encuentran en toda la pieza por debajo de 0.7, o lo que es lo mismo el **coeficiente de seguridad mínimo es de 1.43**, para las zonas común a mayor concentración de tensiones.



LABORATORIO:

INFORME DE ENSAYO Nº: IV070016-03



En resumen, el tornillo TPD14 resiste los esfuerzos debidos al par de apriete aplicado de 15 N·cm durante la fijación del Pilar Dinámico.

El par de apriete indicado por el fabricante para los tornillos TPD14 **no supone, como se ha demostrado mediante las pruebas y análisis realizados, un riesgo de rotura del mismo durante su instalación.** Sin embargo, se desconoce si el nivel de precarga obtenido en la unión (110.5 N aprox.) es suficiente para asegurar la unión ante el aflojamiento y la resistencia a fatiga, debidas a las cargas variables que se producen durante el ciclo de masticación.

Por último destacar que la resta de ensayos realizados sobre las muestras B, D, E y F, no se ha llegado a alcanzar la rotura del tornillo, sino que en el hueco hexagonal y debido a la presión ejercida de la herramienta se ha producido la deformación plástica de las superficies en contacto del tornillo. Esto ha implicado que la imposibilidad que seguir transmitiéndole el esfuerzo de apriete y en consecuencia determinar el par máximo capaz de resistir, especialmente el modelo TPD2.



LABORATORIO:

INFORME DE ENSAYO Nº: IV070016-03

* Los resultados de este ensayo sólo concierne a las muestras cuya descripción aparece bajo el epígrafe "Identificación de la muestra".

* AIDO garantiza la confidencialidad de los resultados de este ensayo.

* Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

* Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe en cualquier medio o por cualquier medio sin el consentimiento expreso de AIDO y del peticionario.

Responsable del ensayo:

Revisor del informe:

Fecha, firma y cargo.

Fecha, firma y cargo

ASOCIACIÓN INDUSTRIAL DE ÓPTICA COLOR E IMAGEN | Calle Nicolás Copérnico, 7, 9, 11 y 13 | Apartado 139 | 46980 Paterna | Valencia | Tels. 96 131 80 51 . 96 131 80 66 | Fax 96 131 80 07 | e-mail: aido@aido.es | <http://www.aido.es>