



## “Análisis teórico-experimental de una pieza rediseñada en plástico”

# MEMORIA

Directores del proyecto: Carlos Javierre  
Javier Abad



# ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	5
2.- OBJETIVOS.....	14
3.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	17
4.- ENSAYOS MECÁNICOS .....	19
4.1 - FUNCIÓN CLIPADO.....	20
4.2 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL.....	24
4.3 - FUNCIÓN COLGADO VERTICAL.....	25
4.4 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL POR TRIANGULO .....	26
5.- MATERIALES .....	27
6.- ANÁLISIS F.E.M .....	33
6.1 - ANÁLISIS DE LA PIEZA METÁLICA.....	35
6.1.1 - FUNCIÓN CLIPADO .....	36
6.1.2 - FUNCIÓN COLGADO VERTICAL.....	38
6.1.3 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL .....	40
6.1.4 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL POR TRIANGULO .....	42
6.2 - ANÁLISIS DE LA PIEZA PROTOTIPO ESTRECHO.....	44
6.2.1 - FUNCIÓN CLIPADO .....	45
6.2.2 - FUNCIÓN COLGADO VERTICAL.....	48
6.2.3 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL .....	51
6.3 - ANÁLISIS DE LA PIEZA ANCLAJE ESTRECHO.....	55
6.3.1 - FUNCIÓN CLIPADO .....	56
6.3.2 - FUNCIÓN COLGADO VERTICAL.....	60
6.3.3 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL .....	65
6.3.4 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL POR TRIANGULO .....	68



<b>6.4 - ANÁLISIS DE LA PIEZA PROTOTIPO ANCHO .....</b>	<b>72</b>
6.4.1 - FUNCIÓN CLIPADO .....	73
6.4.2 - FUNCIÓN COLGADO VERTICAL .....	75
6.4.3 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL .....	77
<b>6.5 - ANÁLISIS DE LA PIEZA ANCLAJE ANCHO .....</b>	<b>80</b>
6.5.1 - FUNCIÓN CLIPADO .....	81
6.5.2 - FUNCIÓN COLGADO VERTICAL .....	83
6.5.3 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL .....	87
6.5.4 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL POR TRIANGULO .....	89
<b>6.6 - TABLA COMPARATIVA RESULTADOS TEÓRICOS FINALES.....</b>	<b>91</b>
<b>7-. ANÁLISIS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>92</b>
<b>7.1 - ANÁLISIS INSTATÁNEOS .....</b>	<b>95</b>
7.1.1 - FUNCIÓN CLIPADO .....	95
7.1.2 - FUNCIÓN COLGADO VERTICAL .....	97
7.1.3 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL .....	99
7.1.4 - FUNCIÓN ATORNILLADO.....	101
<b>7.2 - ANÁLISIS DE EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO .....</b>	<b>102</b>
7.2.1 - EVOLUCIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO EN FUNCIÓN DE COLGADO VERTICAL .....	104
7.2.2 - EVOLUCIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO EN FUNCIÓN DE COLGADO HORIZONTAL .....	106
<b>8-. CONCLUSIONES.....</b>	<b>110</b>
<b>9-. LUGAR, FECHA Y FIRMA DEL RESPONSABLE DEL PROYECTO.....</b>	<b>114</b>



PROYECTO FINAL DE CARRERA:  
“Análisis teórico-experimental de una pieza rediseñada en plástico”



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

## 1.- INTRODUCCIÓN



El mercado actual está marcado por unas grandes fuerzas competitivas que obligan a los fabricantes a actualizar sus productos constantemente, por lo que tenemos un mercado dinámico que nos obliga a seguir evolucionando para conseguir ventajas competitivas respecto a su competencia.

En el sector de las luminarias fluorescentes existe un gran número de fabricantes de dicho producto, debido al gran uso del producto por parte de la población, por lo que existen grandes fuerzas competitivas en el sector. Lo que obliga a los fabricantes a buscar nuevos productos o rediseños de los productos obsoletos para conseguir una mayor productividad y una reducción en los gastos de fabricación.

Podríamos definir la luminaria como un objeto formado por un conjunto de elementos destinados a proporcionar una adecuada radiación luminosa de origen eléctrico. La materialización de esos elementos pasa en cada caso por la conjunción entre un buen diseño formal y una razonable economía de medios. Al primero corresponde resolver el control luminoso según las necesidades, que es el fin primordial; un control térmico que haga estable su funcionamiento; y un control eléctrico que ofrezca las debidas garantías al usuario. Al segundo corresponde prever un producto de fabricación sólida y eficaz; una relativa sencillez en su instalación; y un mínimo mantenimiento durante su uso.



Para el logro de los objetivos propuestos a una luminaria, esta debe proveer las siguientes funciones:

- Distribuir adecuadamente la luz en el espacio.
- Evitar toda causa de molestia provocada por deslumbramiento o brillo excesivo.
- Satisfacer las necesidades estéticas y de ambientación del espacio al que están destinadas.
- Optimizar el rendimiento energético, aprovechando la mayor cantidad de flujo luminoso entregado por las lámparas.

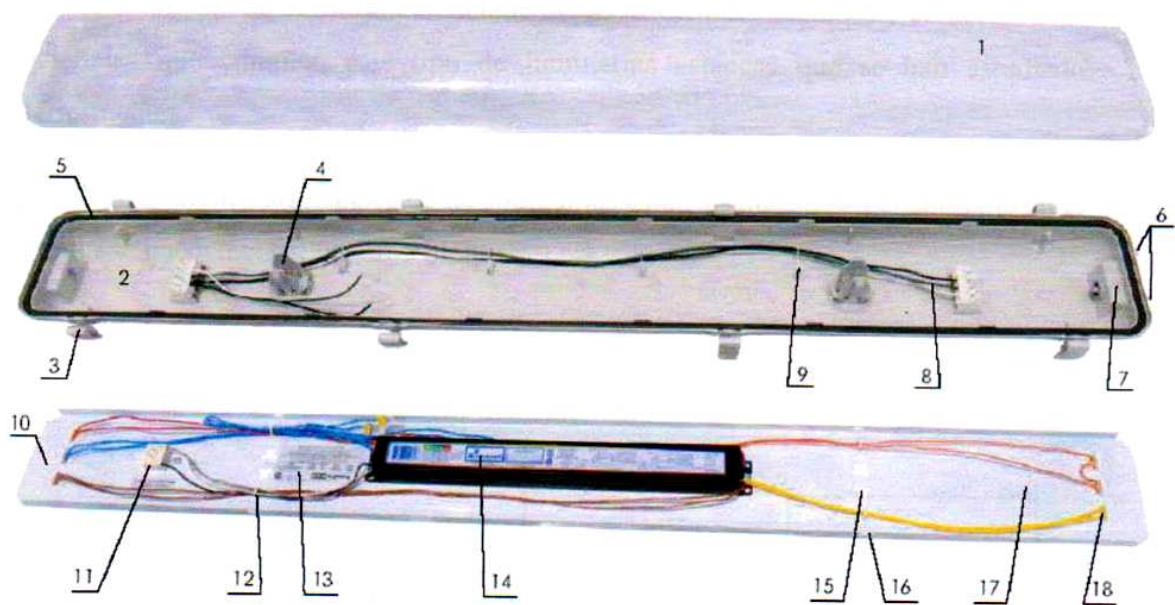
En el diseño de una luminaria se tiene que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Montaje seguro y sencillo para la instalación eléctrica y el mantenimiento.
- Protección al usuario contra descargas eléctricas.



- Efectos térmicos producidos por el confinamiento de la lámpara y los equipos auxiliares.
- Debe disponer del espacio suficiente para los componentes y poseer los accesorios de fijación necesarios, brindando los medios de seguridad adecuados para un correcto funcionamiento.

Las luminarias se componen de los siguientes componentes:



**Figura 1.1** Despiece de una luminaria fluorescente.



## Componentes de un modelo estándar:

- |                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| 1-. Difusor               | 8-. Cableado               |
| 2-. Carcasa               | 9-. Pasa-cables            |
| 3-. Clips de cierre       | 10-. Bandeja               |
| 4-. Clip bandeja          | 11-. Conectores            |
| 5-. Espuma de poliuretano | 12-. Pasa-cables           |
| 6-. Alineadores           | 13-. Cebadores             |
| 7-. Zona de conexión      | 14-. Balasto o reactancias |

En este estudio se parte de un clip de sujeción de las luminarias, se van a detallar las diferentes formas de sustentación que tienen las luminarias.

➤ **Atornillado:** Su colocación se basa en el atornillado directo mediante tornillos de fijación y tacos preinstalados en techo o paredes.

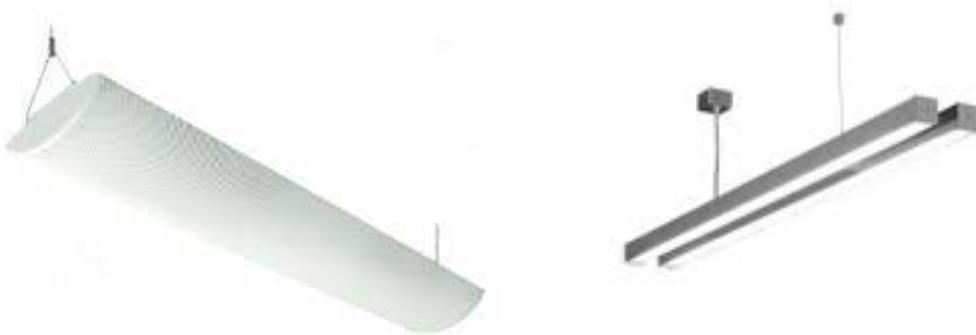


**Figura 1.2** Sustentación mediante atornillado directo.

- **Colgado mediante silgas:** Son apliques colocados en la carcasa para poder pasar el cable que será fijado al techo quedando el producto sustentado por silgas a la altura que desee.

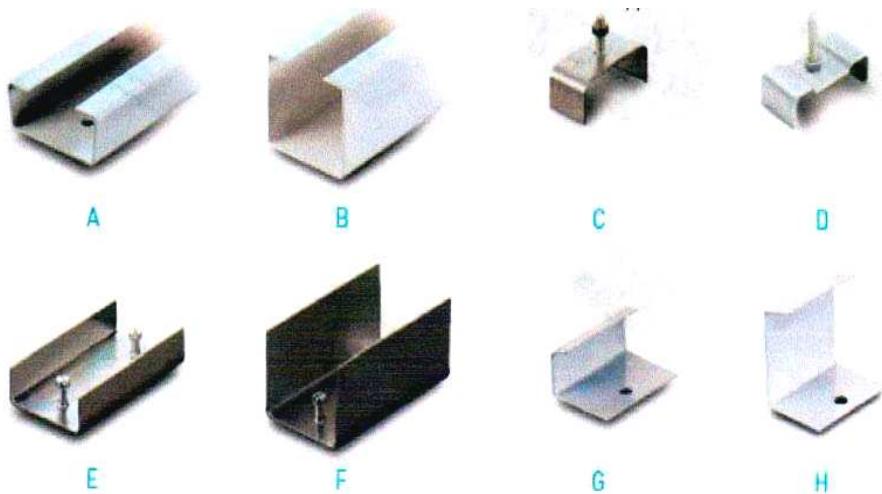


**Figura 1.3** Diferentes elementos de suspensión para colgado mediante silgas.



**Figura 1.4** Diferentes luminarias colgadas mediante silgas.

- **Colgado mediante guías:** Este tipo de sustentación necesita que previamente estén instaladas una serie de guías para poder sujetar la luminaria a ellas, esto se hace posible gracias a unos clips metálicos que se fijan a la carcasa y después encajan en las guías.



**Figura 1.5** Diferentes tipos de guías para sujeción de luminarias.



En nuestro estudio nos vamos a centrar en un clip de sujeción de las luminarias estancas, el cuál puede ser utilizado para una sustentación por guías previamente instaladas o atornillando directamente el clip en el techo o la pared.



**Figura 1.6** Clip metálico de anclaje.

El estudio se basa en el análisis teórico-experimental del clip de sujeción rediseñado en plástico fabricado actualmente en metal. El material utilizado para el rediseño es la poliamida que utiliza Zalux en componentes pequeños tipo clip “B70 G10 TM-Z1 gris 976”. El cambio de material propuesto es debido al menor coste de producción que ofrece el proceso de inyección del material plástico en comparación con el proceso de fabricación del material metálico utilizado actualmente por el fabricante.



Una vez rediseñado el clip en plástico procederemos al estudio de su comportamiento frente a las diferentes funciones de sustentación que puede sufrir el clip en su uso cotidiano. Para ello contamos con programas informáticos de cálculo de esfuerzos por elementos finitos (Solid Works, Pro-engineer) y realizaremos pruebas experimentales para poder comprobar junto a los resultados teóricos obtenidos por ordenador que analizando los resultados del clip nuevo propuesto en el rediseño con los resultados del clip actual tendremos una base comparativa para poder afirmar que su comportamiento será fiable, ya que el clip actual con esas condiciones de contorno ha funcionado durante años, cumpliendo con sus funciones preestablecidas.



PROYECTO FINAL DE CARRERA:  
“Análisis teórico-experimental de una pieza rediseñada en plástico”



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

## 2-. OBJETIVOS



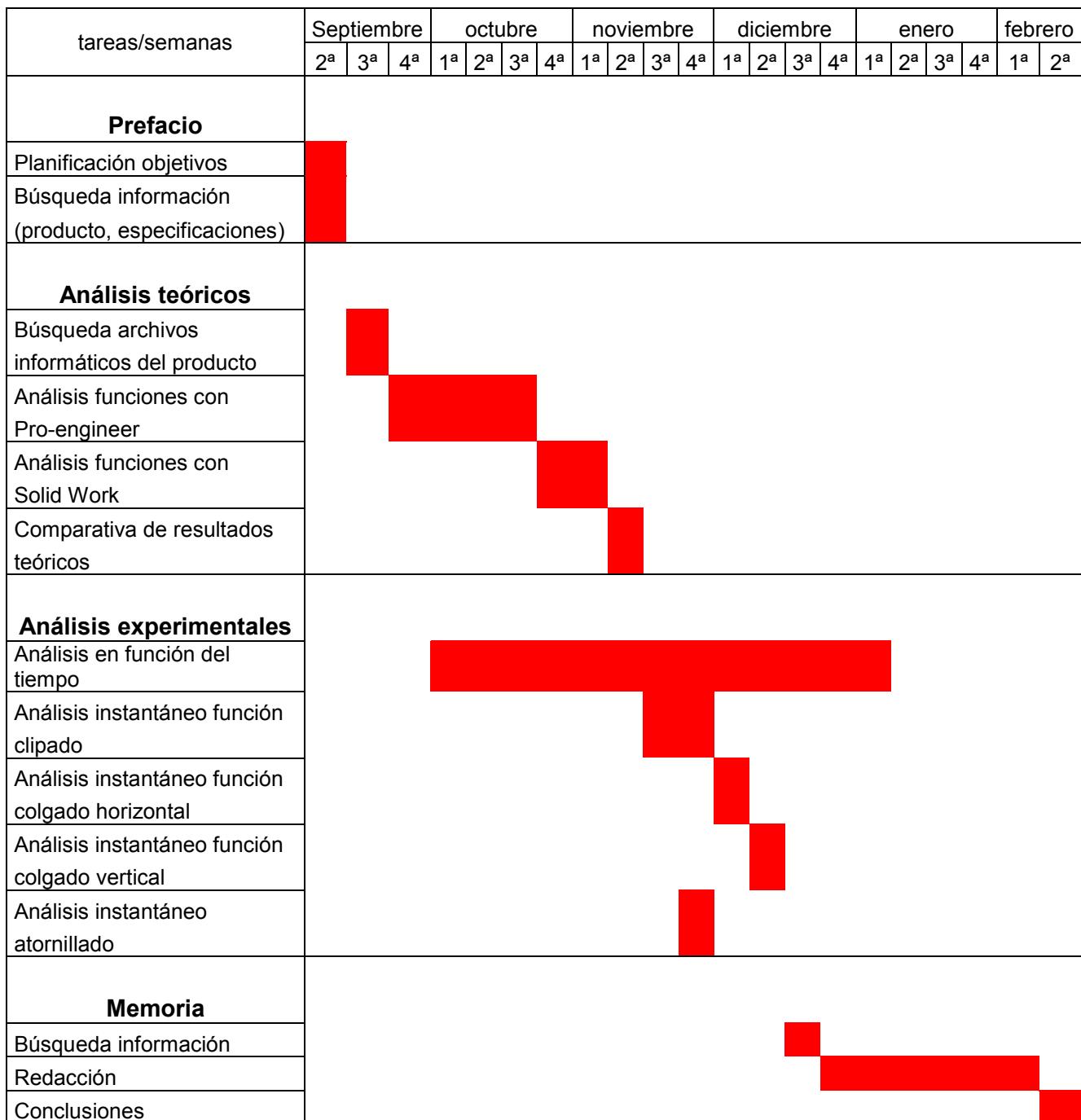
En un diseño o rediseño de un producto, el objetivo del proyecto es hacer un producto innovador, que alcance una serie de ventajas competitivas en el mercado, que sean una mayor fuente de ingresos para la empresa. En nuestro caso el rediseño del clip está basado en el cambio de material para fabricarlo, actualmente la pieza se fabrica en metal y nuestra propuesta es fabricarlo en una poliamida, la cual ya es utilizada por el fabricante para la producción de otros componentes.

Para conseguir nuestro objetivo seguiremos una metodología que deberá seguirse para llegar a los resultados realmente viables, en este proyecto se intentará seguir dicha metodología general a la realización de un diseño de una pieza plástica con los análisis y especificaciones necesarias en este campo.

Para la determinación de la viabilidad del producto diseñado se realizaran pruebas experimentales sobre todas las funciones que debe soportar el producto, se compararán con los resultados teóricos calculados con los programas informáticos para asegurar que el nuevo diseño del clip cumple todos los requisitos y especificaciones de diseño que previamente se habían establecido.



A continuación se muestra el cronograma de tiempos y tareas para la planificación de este proyecto:





PROYECTO FINAL DE CARRERA:  
“Análisis teórico-experimental de una pieza rediseñada en plástico”



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

### **3-. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**



Para el estudio de cualquier producto es necesario conocer todos los factores que puedan afectar el buen funcionamiento de nuestro producto a lo largo de su vida útil. A continuación se muestra el listado de requisitos y características que el fabricante exige que cumpla el clip de sujeción de luminarias estancas:

- Carga máxima de trabajo 2,5 Kg en función de colgado horizontal y vertical.
- Factor de seguridad general 3 en función de colgado horizontal y vertical.
- Temperatura de trabajo máxima 40ºC.
- Función clipado. Uso normal: 1 montaje. (Desmontable con destornillador).
- Funcionamiento en poliamida húmeda y seca.
- Dimensiones máximas (100x25x17).



PROYECTO FINAL DE CARRERA:  
“Análisis teórico-experimental de una pieza rediseñada en plástico”



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

## 4-. ENSAYOS MECÁNICOS



El anclaje puede estar sujeto a tres solicitudes principales que vamos a denominar funciones y describimos a continuación:

## 4.1 - FUNCIÓN CLIPADO

En esta función analizaremos el comportamiento del clip en las condiciones de montaje respecto a la luminaria.

Analizaremos la altura de engarce, la fuerza necesaria para llegar a esa altura de engarce y las tensiones, las deformaciones y los desplazamientos sufridos por el clip al realizar la función de clipado.

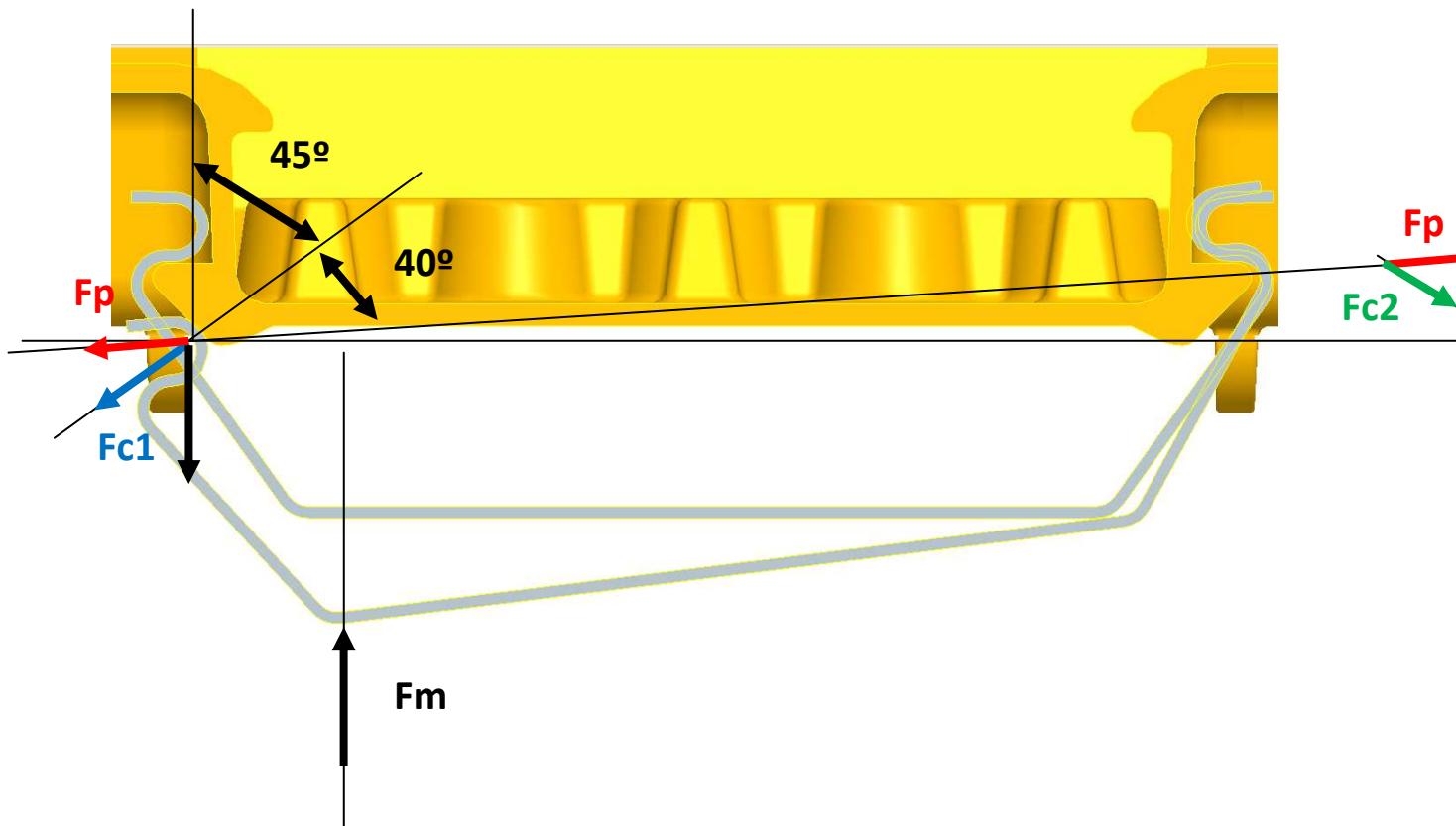
Cabe destacar que el montaje del clip se puede realizar en dos posiciones, montando primero un lado y luego el otro o montando los dos lados a la vez. Sólo estudiaremos el montaje de un lado porque es el más utilizado para esta función.



**Figura 4.1** Función clipado sobre la luminaria.



A continuación se procede a explicar la función del clipado del clip, durante el montaje de la pieza sobre la carcasa se produce un clipado en el que la parte de la pieza sufre un trabajo a flexión semejante al que aparece en la pieza actual metálica. A partir de este diagrama podemos relacionar la fuerza de montaje  $F_m$  con la fuerza que actúa sobre la pieza haciendo flectar el clip. En la pieza metálica se deforma también la zona opuesta de la pieza al actuar sobre ella  $F_{c2}$ .



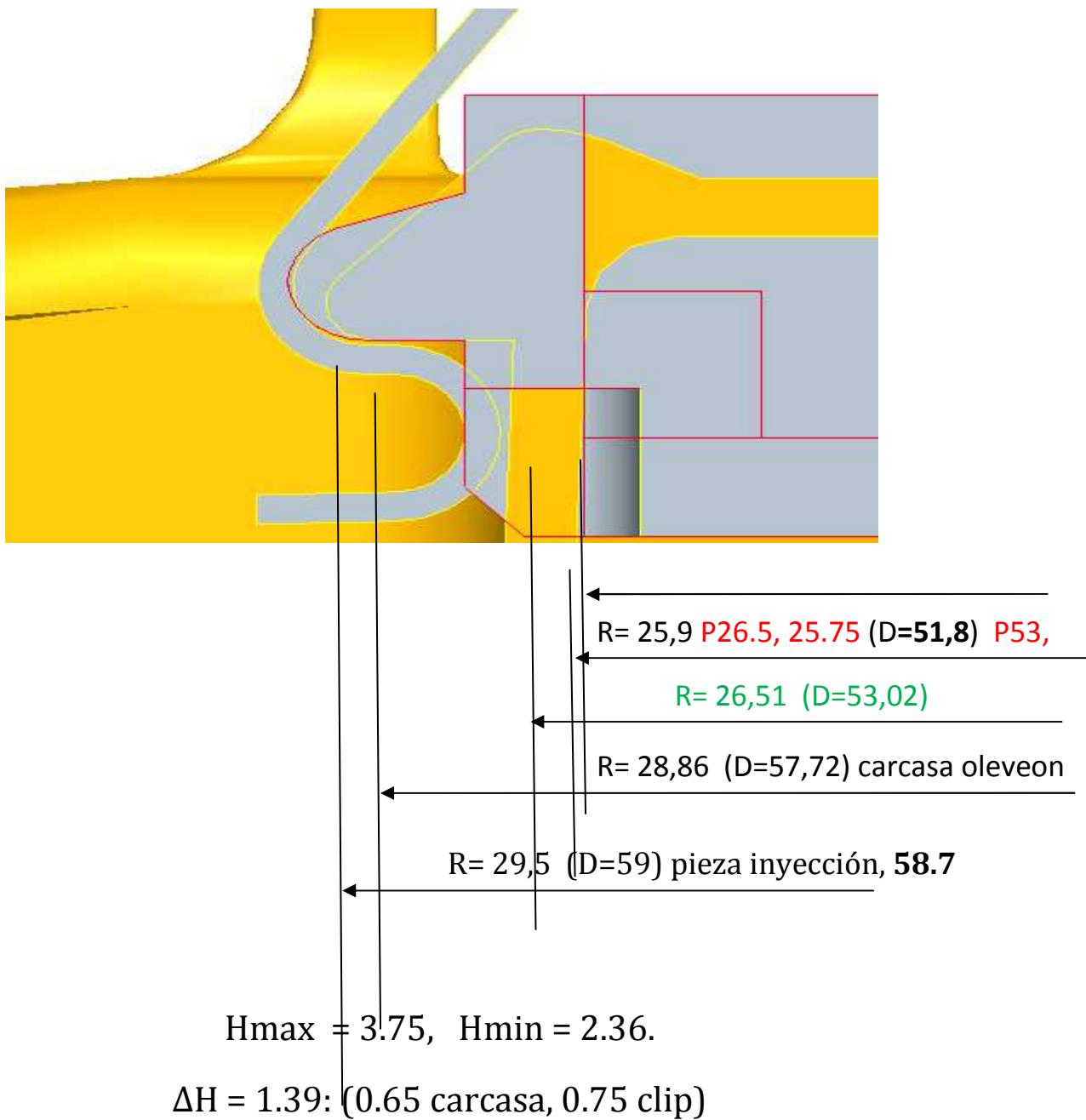
$$F_{c1} = F_m \cos 45$$

$$F_p = F_{c1} \cos 40 = F_m \cos 45 \cos 40$$

$$F_{c2} = F_p \cos 50 = F_{c1} \cos 40 \cos 50 = F_{c1} \cdot 0.49$$



Analizando la geometría de la carcasa y del clip se puede establecer la deformación que sufre el anclaje durante el montaje.

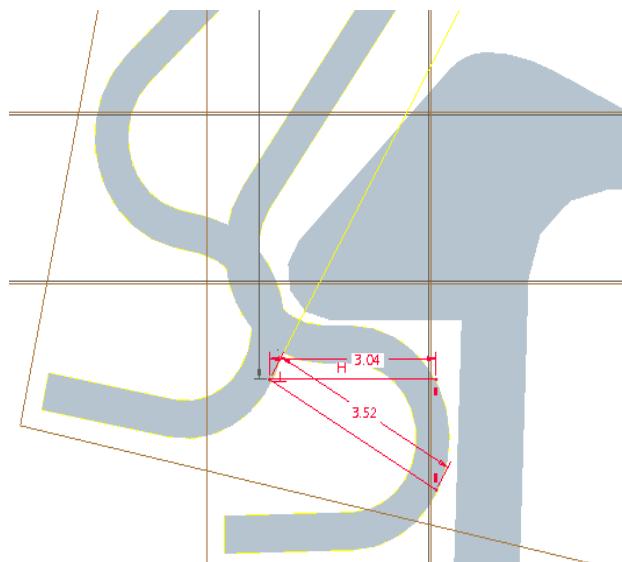


En la gráfica se nos muestra las diferentes longitudes tanto de los clips como de las luminarias y a partir de estos datos se ha realizado el cálculo. De este cálculo podemos deducir que la máxima altura de



engarce será 3,75 mm y la mínima será 2,3 mm. La diferencia de engarce entre el máximo y el mínimo es debida a la diferencia de luminarias (0,69 mm) y a la diferencia de clips (0,75 mm) que en total dan una diferencia de  $\Delta H = 1,39$  mm.

Por último calcularemos la deformación que será necesaria para realizar la función de clipado:



$$H = 3\text{mm} \Rightarrow H_{\text{clip}} = 3.5\text{mm}$$

A este valor de 3.5 se le restará en el caso de la pieza metálica un tercio de deformación debido a la Fc2 y en el anclaje de plástico se restará 0.3mm debido a que la deformación máxima que sufre el lado contrario tiene el recorrido limitado en este valor, estableciéndose en 3.2mm lo que debe flectar la parte de la pieza que hace el clipado para un correcto montaje.



## 4.2 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL

Esta función se refiere al colgado de las luminarias de forma paralela al suelo. En esta posición calcularemos las tensiones, las deformaciones y los desplazamientos sufridos por el clip al realizar la función solicitada.

Tendremos en cuenta las solicitudes técnicas referidas a nuestro clip: La carga máxima de trabajo serán 2,5 Kg con un coeficiente de seguridad de 3, lo que nos lleva a una carga máxima de 7,5 Kg para nuestro estudio.



**Figura 4.2** Función colgado horizontal.



## 4.3 - FUNCIÓN COLGADO VERTICAL

Esta función se refiere al colgado de las luminarias de forma perpendicular al suelo. En esta posición calcularemos las tensiones, las deformaciones y los desplazamientos sufridos por el clip al realizar la función solicitada, igual que en el caso anterior.

Para ello realizaremos dos estudios distintos en la pieza final: En el primero calcularemos los resultados ejerciendo fuerza sobre la zona central de la parte de sujeción en contacto con la luminaria y en el segundo estudio calcularemos los resultados aplicando la fuerza sólo sobre las patas laterales de refuerzo del anclaje.

Las solicitudes técnicas a tener en cuenta serán las mismas que en el colgado horizontal pero aplicadas en sentido vertical.



**Figura 4.3** Función colgado vertical.



## 4.4 - FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL POR TRIANGULO

Esta función se refiere al colgado de las luminarias en la misma posición que el colgado horizontal pero con sujeción distinta. La sujeción en este caso es por un triangulo metálico que es introducido en unos agujeros laterales de la pieza que están diseñados así para esta solicitud. En esta posición calcularemos las tensiones, las deformaciones y los desplazamientos sufridos por el clip al realizar la función solicitada.

Tendremos en cuenta las solicitudes técnicas referidas a nuestro clip: La carga máxima de trabajo serán 2,5 Kg con un coeficiente de seguridad de 3, lo que nos lleva a una carga máxima de 7,5 Kg para nuestro estudio.



**Figura 4.4** Función colgado horizontal por triangulo.



PROYECTO FINAL DE CARRERA:  
“Análisis teórico-experimental de una pieza rediseñada en plástico”



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

## 5.- MATERIALES



A lo largo del siglo XX el uso del plástico se hizo extremadamente popular y llegó a sustituir a otros materiales tanto en el ámbito doméstico, como industrial y comercial.

Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. La mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas.

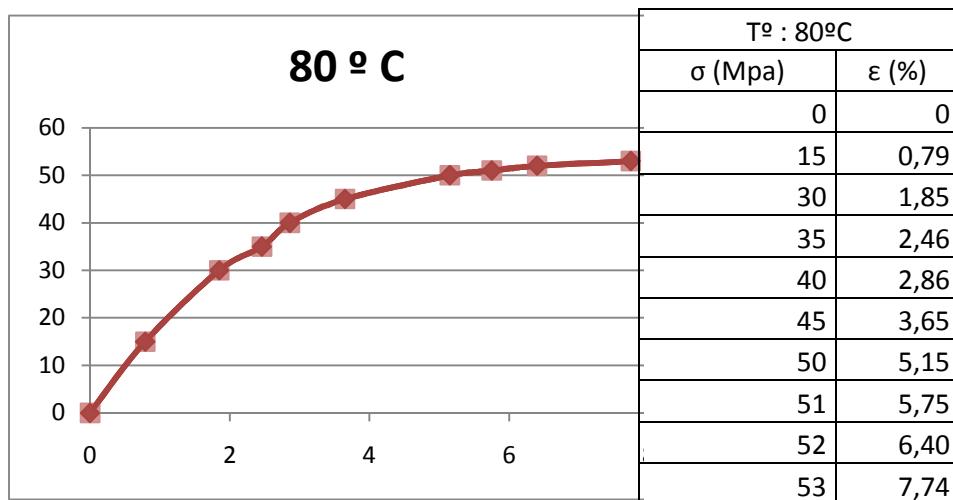
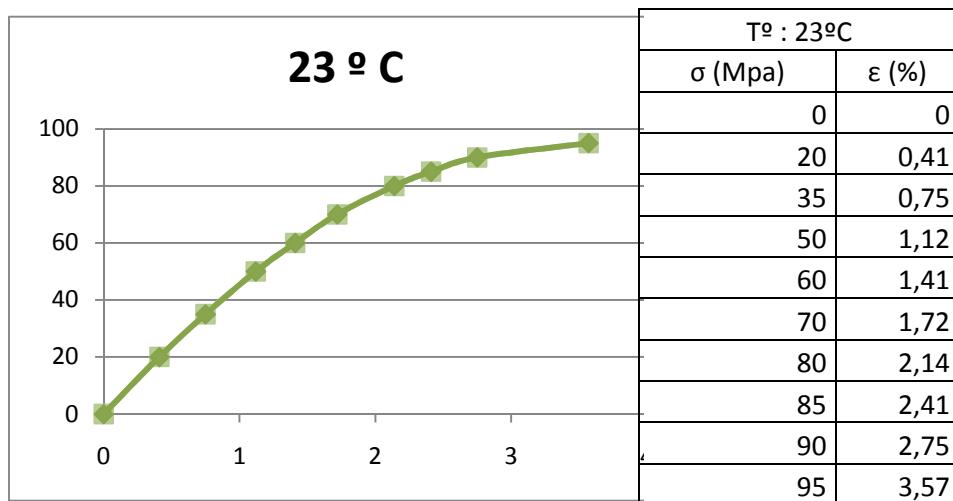
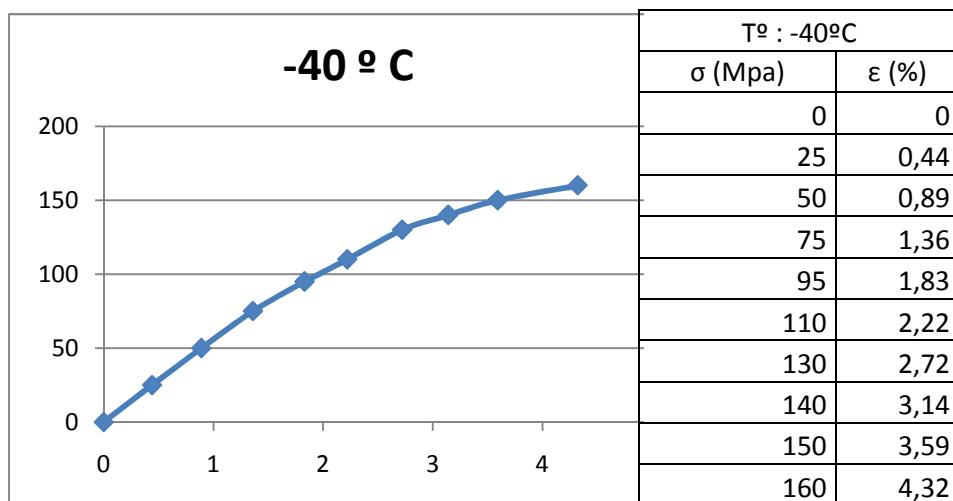
El material utilizado para el rediseño del clip es una poliamida denominada “B70 G10 TM-X Gris 7035 UV”. En su composición tiene un 10% de fibra de vidrio y viene suministrada en granos cilíndricos.

Las características técnicas del clip en estado seco son: su módulo elástico es de 4800 N/mm<sup>2</sup>, su alargamiento a rotura es de 4% y su resistencia a la flexión de 155 N/mm<sup>2</sup> y para su estado húmedo sus características técnicas son: su módulo elástico es de 3000 N/mm<sup>2</sup>, su alargamiento a rotura es de 5% y su resistencia a la flexión de 115 N/mm<sup>2</sup>.



A continuación se muestran propiedades de la poliamida:

- Curva tensión-deformación:





- Variación módulo elástico frente a la temperatura:

Módulo elástico 3800N/mm<sup>2</sup>, a 0°C.

Resistencia a la tracción 129 N/mm<sup>2</sup>, a 0°C.

Resistencia a la flexión 141 N/mm<sup>2</sup>, a 0°C.

Módulo elástico 3000N/mm<sup>2</sup>, a 23°C.

Resistencia a la tracción 105 N/mm<sup>2</sup>, a 23°C.

Resistencia a la flexión 115 N/mm<sup>2</sup>, a 23°C.

Módulo elástico 1800N/mm<sup>2</sup>, a 40°C.

Resistencia a la tracción 75 N/mm<sup>2</sup>, a 40°C.

Resistencia a la flexión 82 N/mm<sup>2</sup>, a 40°C.

Módulo elástico 4100N/mm<sup>2</sup>, a -25°C.

Resistencia a la tracción 131 N/mm<sup>2</sup>, a -25°C.

Resistencia a la flexión 143 N/mm<sup>2</sup>, a -25°C.

Módulo elástico 1400N/mm<sup>2</sup>, a 80°C.

Resistencia a la tracción 44 N/mm<sup>2</sup>, a 80°C.

Resistencia a la flexión 48 N/mm<sup>2</sup>, a 80°C.



- Curvas de creep (alargamiento en el tiempo):

Las curvas de creep representan la deformación de los materiales en el tiempo. Un material expuesto a un esfuerzo constante, con el paso del tiempo, varían sus propiedades.

En las tablas expuestas a continuación se detalla como varía la deformación en tanto por ciento, soportando un esfuerzo constante en función de las horas de trabajo.

<b>Para 20 Mpa</b>	
1 h	0,80%
10 h	1,00%
100 h	1,10%
1000 h	1,20%
10000 h	1,30%

<b>Para 15 Mpa</b>	
1 h	0,50%
10 h	0,60%
100 h	0,70%
1000 h	0,90%
10000 h	0,95%

<b>Para 10 Mpa</b>	
1 h	0,35%
10 h	0,42%
100 h	0,50%
1000 h	0,65%
10000 h	0,78%

<b>Para 5 Mpa</b>	
1 h	0,25%
10 h	0,27%
100 h	0,28%
1000 h	0,30%
10000 h	0,34%



- Módulo plastodeformación en el tiempo:

Estas tablas nos indican la disminución respecto al tiempo de la tensión sufrida por la pieza al ponerle una carga permanente. Esto es debido a la deformación que aparece y que provoca dicha disminución de la tensión.

<b>Para 45 Mpa</b>	
1 h	2560 Mpa
10 h	2310 Mpa
100 h	2050 Mpa
1000 h	1780 Mpa
10000 h	1510 Mpa

<b>Para 40 Mpa</b>	
1 h	2760 Mpa
10 h	2530 Mpa
100 h	2270 Mpa
1000 h	1990 Mpa
10000 h	1690 Mpa

<b>Para 35 Mpa</b>	
1 h	2940 Mpa
10 h	2730 Mpa
100 h	2480 Mpa
1000 h	2190 Mpa
10000 h	1870 Mpa

<b>Para 30 Mpa</b>	
1 h	3080 Mpa
10 h	2880 Mpa
100 h	2630 Mpa
1000 h	2360 Mpa
10000 h	2030 Mpa

<b>Para 25 Mpa</b>	
1 h	3180 Mpa
10 h	3000 Mpa
100 h	2780 Mpa
1000 h	2500 Mpa
10000 h	2170 Mpa

<b>Para 20 Mpa</b>	
1 h	3260 Mpa
10 h	3100 Mpa
100 h	2880 Mpa
1000 h	2600 Mpa
10000 h	2270 Mpa

<b>Para 15 Mpa</b>	
1 h	3310 Mpa
10 h	3160 Mpa
100 h	2960 Mpa
1000 h	2680 Mpa
10000 h	2340 Mpa

<b>Para 10 Mpa</b>	
1 h	3340 Mpa
10 h	3210 Mpa
100 h	3000 Mpa
1000 h	2730 Mpa
10000 h	2380 Mpa

<b>Para 5 Mpa</b>	
1 h	3360 Mpa
10 h	3230 Mpa
100 h	3030 Mpa
1000 h	2750 Mpa
10000 h	2370 Mpa



PROYECTO FINAL DE CARRERA:  
“Análisis teórico-experimental de una pieza rediseñada en plástico”



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

## 6-. ANÁLISIS F.E.M



En este apartado se desarrollan todos los cálculos realizados por elementos finitos, se ha realizado el análisis de los tres clips, tanto del actual en material metálico como los clips fabricados en plástico (prototipo y final). Se han considerado las dos medidas de luminarias que utilizan este clip de sujeción. A partir de ahora se denominara anclaje ancho para el clip de sujeción de la luminaria ancha y anclaje estrecho para el clip de la luminaria estrecha.

Para todos los clips se han considerado las mismas funciones de sujeción posibles que tiene que soportar el producto final, dichas funciones se explicaron detalladamente en el apartado 4.

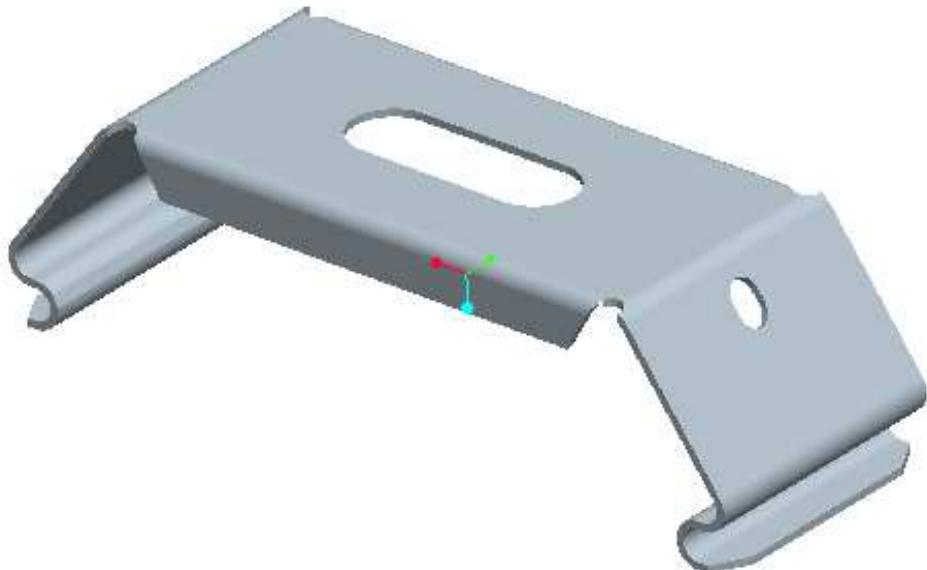
Para realizar el cálculo se han utilizado dos programas informáticos distintos. Por un lado se ha utilizado el programa Pro-engineer, con el cual se han analizado los casos en el que la respuesta del material plástico se ha considerado lineal. Para comparar los resultados en caso de que la respuesta del material plástico no fuera lineal se ha utilizado el programa Solid Works.

Para finalizar el análisis F.E.M se ha realizado una comparativa con todos los resultados obtenidos, de la cual se obtendrán las conclusiones pertinentes.



## 6.1 – ANÁLISIS DE LA PIEZA METÁLICA:

La pieza metálica es el clip que actualmente está produciendo el fabricante demandante de este proyecto. La anchura de esta pieza en la zona de clipado es de 38 mm. Para el cálculo informático se ha utilizado un módulo elástico del material de 210.000 MPa.



**Figura 6.1** Clip de sujeción metálico.

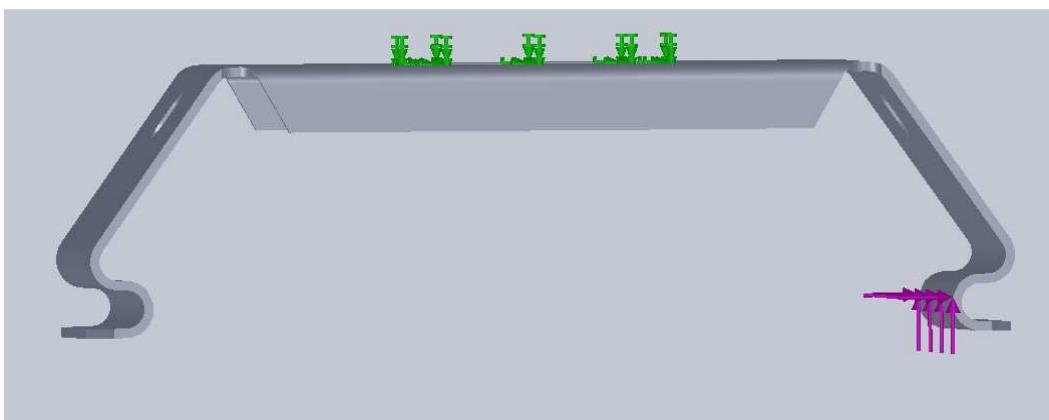
Los análisis por elementos finitos se han realizado con el programa PRO-Engineer y el programa Solid Works obteniendo resultados muy similares con ambos programas. Se muestran para este caso de la pieza metálica imágenes correspondientes a las tensiones, los desplazamientos y las deformaciones unitarias realizadas con Solid Works.



### 6.1.1 - FUNCION CLIPADO

Para la función clipado se ha calculado la fuerza necesaria que necesitaríamos ejercer para obtener el desplazamiento deseado (calculado en el apartado 4), en este caso 2,3 mm.. Para ello hemos descompuesto las fuerzas en vertical y horizontal pero siempre manteniendo la proporcionalidad entre ellas para que el ángulo de incidencia de las fuerzas sobre la pieza fuera siempre la misma. Para este caso se calcularon una fuerza horizontal (eje X) de 45 Nw y una fuerza vertical (eje Y) de 28 Nw.

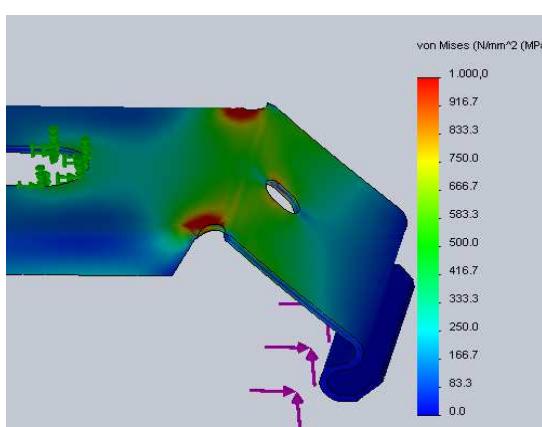
Los puntos de anclaje son la parte superior que se considera inmóvil porque cuando ejercemos la fuerza para clipar la pieza no se mueve y la parte simétrica del punto donde se ejerce la fuerza también está anclado para simular fielmente el proceso de clipado en la pieza.



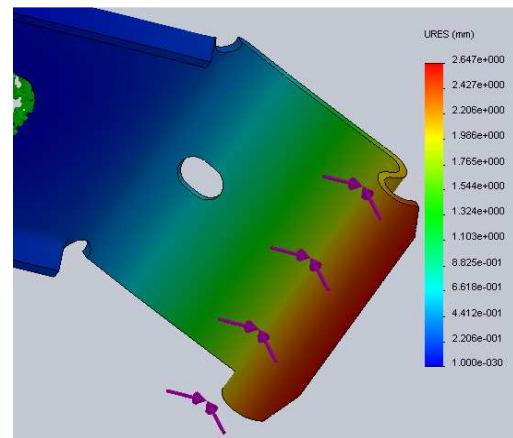
**Figura 6.2** Condiciones contorno función clipado.



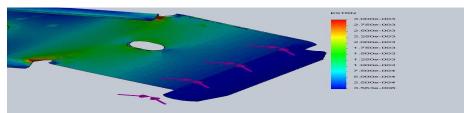
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos de la pieza metálica en la función del clipado sobre la luminaria:



**Figura 6.3 Tensiones (MPa)**



**Figura 6.4 Desplazamientos (mm)**



**Figura 6.5 Deformaciones unitarias (N/D)**

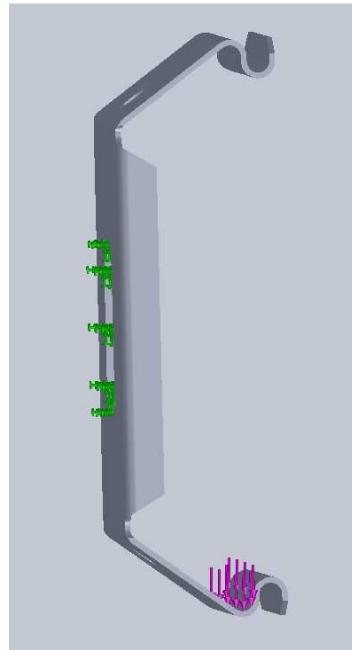
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del clipado del programa Solid Works:

F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)
<b>5.3</b>	210000	1000	2.3	0.3



### **6.1.2 - FUNCION COLGADO VERTICAL**

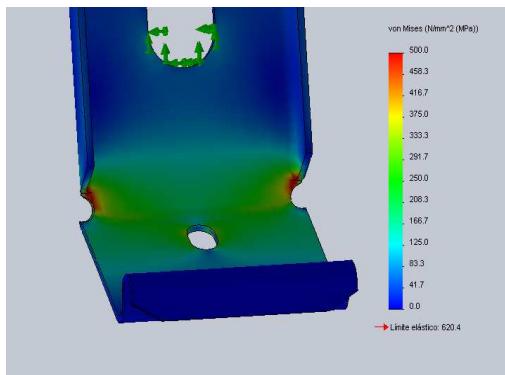
Esta función determina el caso en el que la luminaria está atornillada a la pared de forma paralela al suelo. Para esta función se ha propuesto una fuerza vertical sobre uno de los lados, dejando el lado contrario libre de cargas. La fuerza tiene un valor de 25 Nw, que son equivalentes a los 2,5 Kg que pesa la luminaria. El punto de anclaje elegido para esta función es solamente la parte central de la pieza que es por donde se atornilla a la pared.



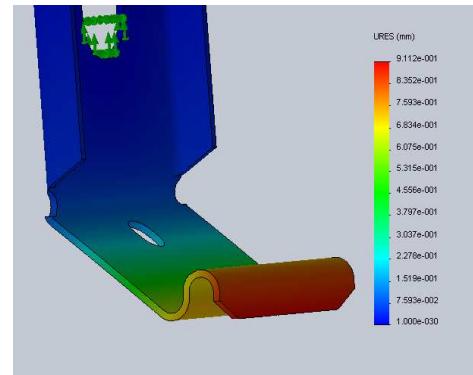
**Figura 6.6** Condiciones contorno función colgado vertical.



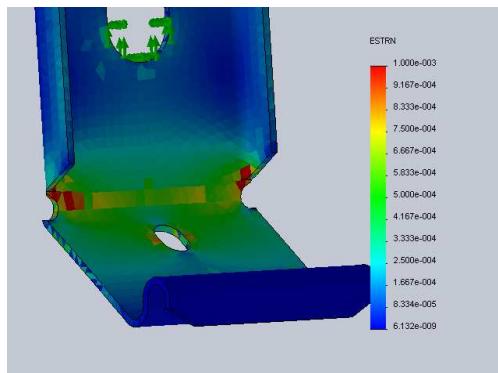
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos de la pieza metálica en la función del colgado vertical de la luminaria:



**Figura 6.7 Tensiones (MPa)**



**Figura 6.8 Desplazamientos (mm)**



**Figura 6.9 Deformaciones unitarias (N/D)**

A continuación se detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del clipado del programa Solid Works:

F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)
2.5	210000	500	<b>0.75</b>	0.1



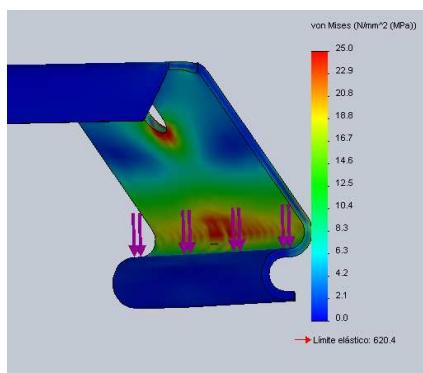
### 6.1.3 - FUNCION COLGADO HORIZONTAL

Esta función determina el caso en el que la luminaria está atornillada al techo. Para esta función se ha propuesto una fuerza vertical sobre cada lado. La fuerza tiene un valor de 12,5 Nw, que son equivalentes a los 1,25 Kg que recibe cada lado del clip por el peso de la luminaria. Los puntos de anclaje elegidos para esta función son la parte central de la pieza que es por donde se atornilla al techo y los laterales de la pieza también se simulan anclados porque una vez clipada la pieza en la luminaria no puede abrirse hacia los lados.

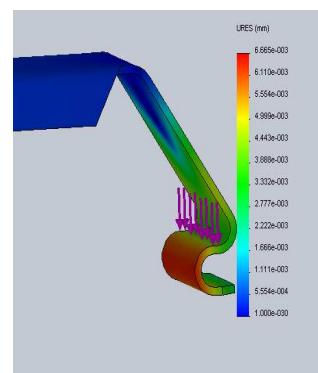


**Figura 6.10** Condiciones contorno función colgado horizontal.

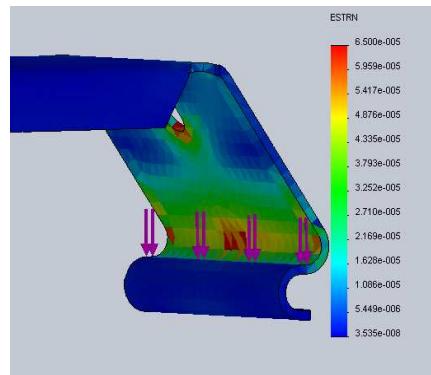
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos de la pieza metálica en la función del colgado horizontal de la luminaria:



**Figura 6.11** Tensiones (MPa)



**Figura 6.12** Desplazamientos (mm)



**Figura 6.13 Deformaciones unitarias (N/D)**

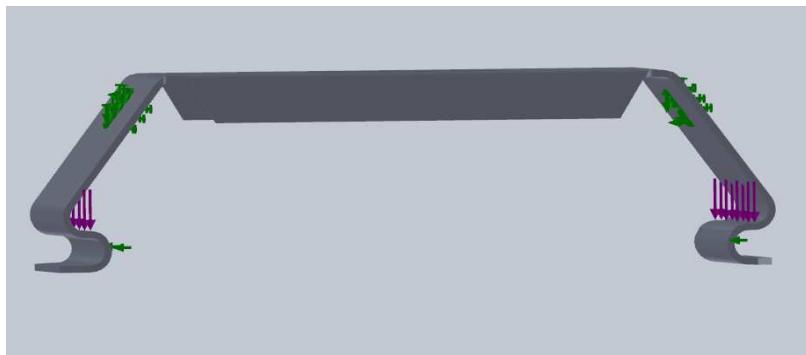
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado horizontal del programa Solid Works:

F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)
2.5	210000	25	<b>0.006</b>	0.006



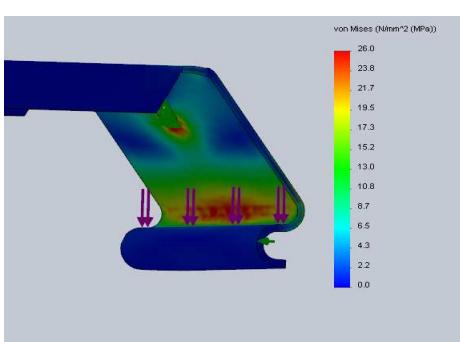
#### 6.1.4 - FUNCION COLGADO HORIZONTAL POR TRIANGULO

Esta función determina el caso en el que la luminaria está colgada por un triangulo en el techo. Para esta función se ha propuesto la misma fuerza vertical que en la función de colgado horizontal sin triangulo. La fuerza tiene un valor de 12,5 Nw, que son equivalentes a los 1,25 Kg que recibe cada lado del clip por el peso de la luminaria. Los puntos de anclaje elegidos para esta función son la parte central de la pieza que es por donde se atornilla al techo y los laterales de la pieza también se simulan anclados porque una vez clipada la pieza en la luminaria no puede abrirse hacia los lados.

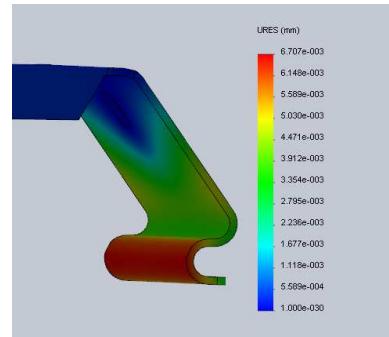


**Figura 6.14** Condiciones contorno función colgado horizontal por triangulo.

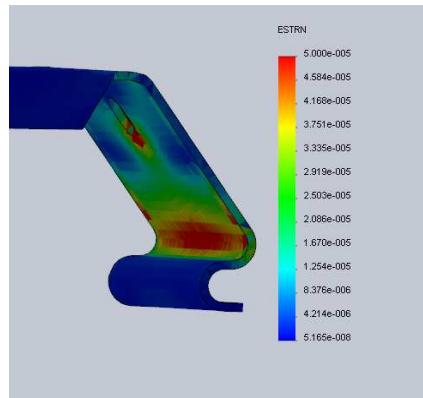
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos de la pieza metálica en la función del colgado horizontal por triangulo de la luminaria:



**Figura 6.15** Tensiones (MPa)



**Figura 6.16** Desplazamientos (mm)



**Figura 6.17** Deformaciones unitarias (N/D)

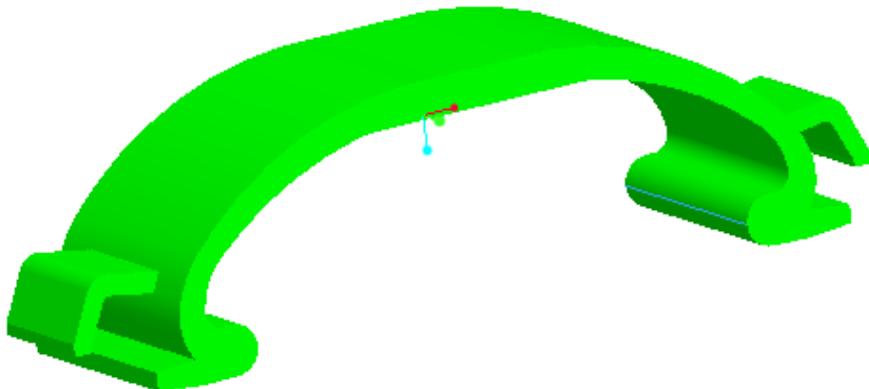
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado horizontal por triangulo del programa Solid Works:

F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)
2.5	210000	26	<b>0.006</b>	0.0005



## 6.2 – ANÁLISIS DE LA PIEZA PROTOTIPO ESTRECHO:

Esta pieza es el primer prototipo diseñado en plástico a partir de la pieza metálica fabricada actualmente. La pieza ha sido diseñada por el programa Pro-engineer. La anchura de esta pieza en la zona de clipado es de 38 mm. Las propiedades del material son las anteriormente expuestas en el apartado 5 de este proyecto.



**Figura 6.18** Prototipo estrecho en plástico del clip de sujeción .

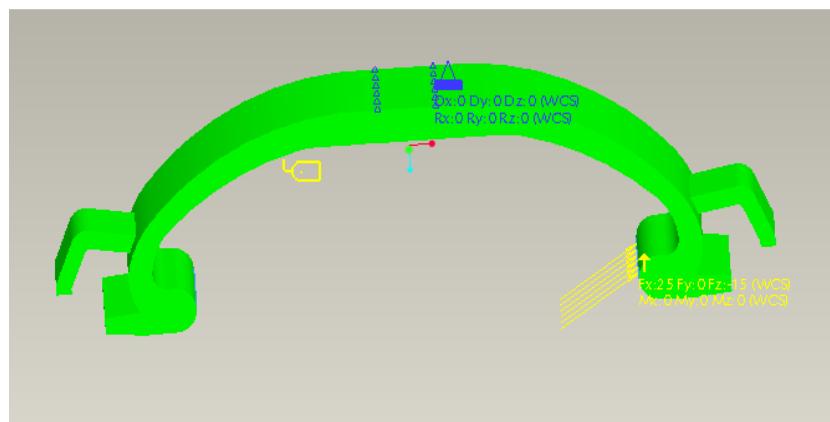
Los análisis por elementos finitos se han realizado con el programa PRO-Engineer y el programa Solid Works obteniendo resultados muy similares con ambos programas. Se muestran para este caso del prototipo estrecho imágenes correspondientes a las tensiones, los desplazamientos y las deformaciones unitarias con PRO-Engineer para el caso lineal y con Solid Works para el caso no lineal. No se ha tenido en cuenta el colgado por triángulo ya que en el prototipo no se puede realizar esa función.



### 6.2.1 - FUNCION CLIPADO

Para la función clipado se ha calculado la fuerza necesaria que necesitaríamos ejercer para obtener el desplazamiento deseado (calculado en el apartado 4) que serán aproximadamente unos 2,3 mm. Para ello hemos descompuesto las fuerzas en vertical y horizontal pero siempre manteniendo la proporcionalidad entre ellas para que el ángulo de incidencia de las fuerzas sobre la pieza fuera siempre la misma. Para este caso se calcularon una fuerza horizontal (eje X) de 25 Nw y una fuerza vertical (eje Y) de 15 Nw.

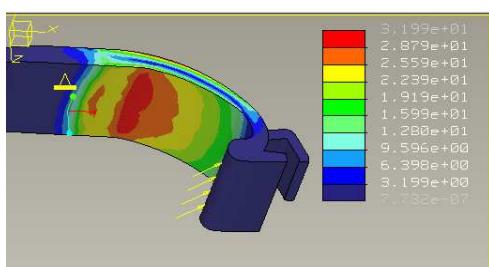
Los puntos de anclaje son la parte superior que se considera inmóvil porque cuando ejercemos la fuerza para clipar la pieza no se mueve y la parte simétrica del punto donde se ejerce la fuerza también está anclado para simular fielmente el proceso de clipado en la pieza.



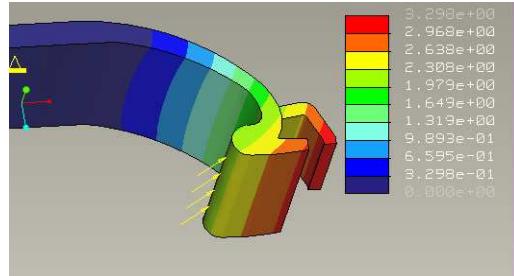
**Figura 6.19** Condiciones contorno pieza prototipo estrecho.



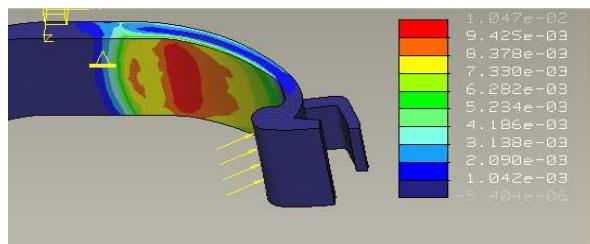
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos de la pieza prototipo estrecho en la función del clipado sobre la luminaria:



**Figura 6.20 Tensiones (MPa)**



**Figura 6.21 Desplazamientos (mm)**



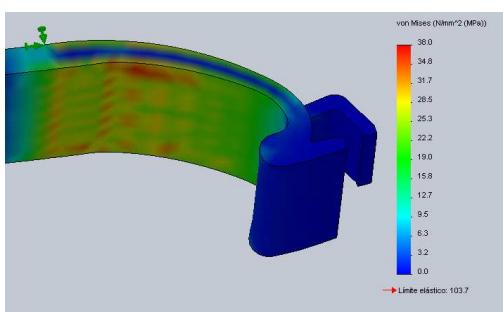
**Figura 6.22 Deformaciones unitarias (N/D)**

La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del clipado del programa Pro-engineer:

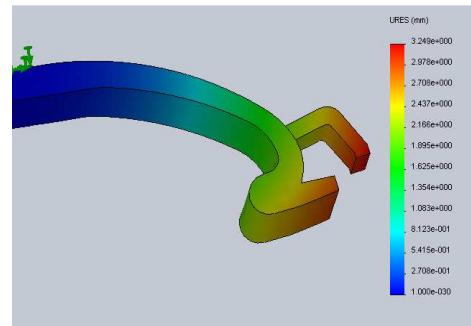
Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	<b>2.9</b>	3000	32	2.3	1.05	<b>3.6</b>
Seca	<b>4.7</b>	4900	52	2.3	1.05	<b>3</b>
Fría 0º	<b>3.6</b>	3800	40	2.3	1.05	<b>3.5</b>
Caliente 40º	<b>1.7</b>	1800	19	2.3	1.05	<b>4.3</b>



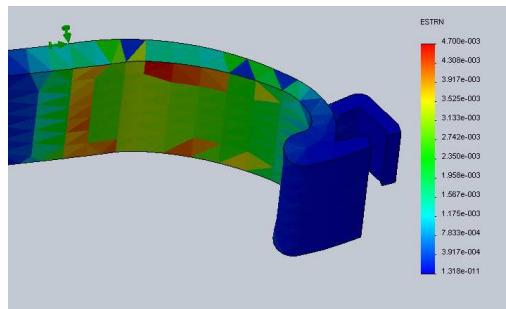
A continuación se muestra los resultados obtenidos con el programa Solid Works para el caso no lineal:



**Figura 6.36** Tensiones (MPa)



**Figura 6.37** Desplazamientos (mm)



**Figura 6.38** Deformaciones unitarias (N/D)

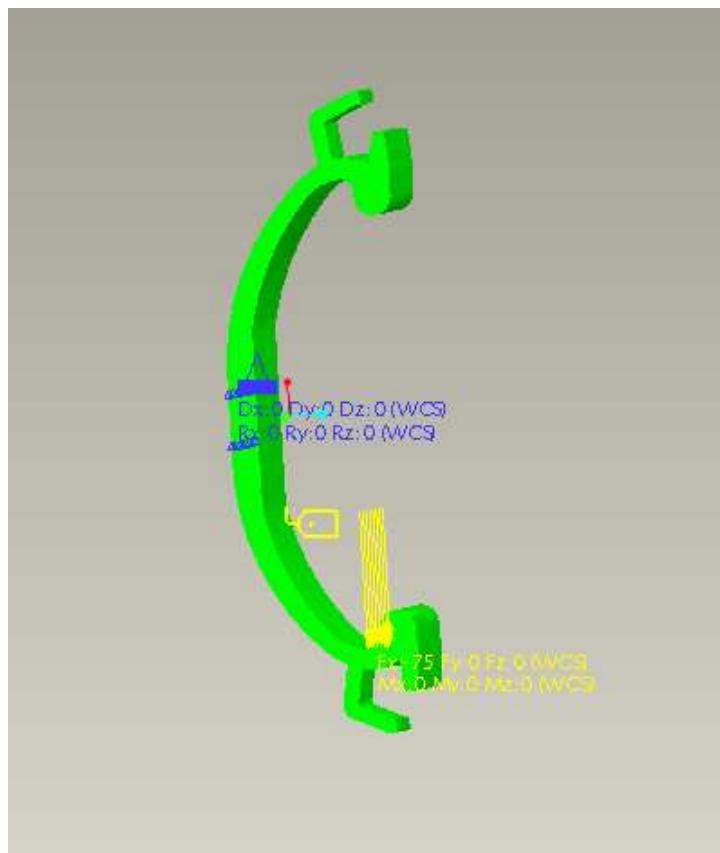
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del clipado del programa Solid Works:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
no lineal	<b>4</b>	3000	38	2.3	0.47	<b>3</b>



### 6.2.2 - FUNCION COLGADO VERTICAL

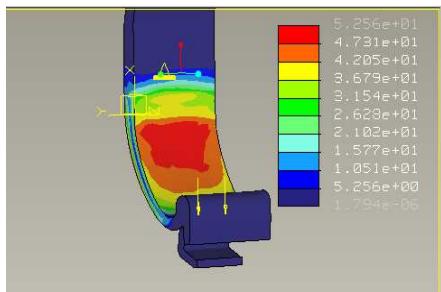
Esta función determina el caso en el que la luminaria está atornillada a la pared de forma paralela al suelo. Para esta función se ha propuesto una fuerza vertical sobre uno de los lados, dejando el lado contrario libre de cargas. La fuerza tiene un valor de 75 Nw, que son equivalentes a los 2,5 Kg que pesa la luminaria por un coeficiente de seguridad de 3, que es lo solicitado por el fabricante. El punto de anclaje elegido para esta función es solamente la parte central de la pieza que es por donde se atornilla a la pared.



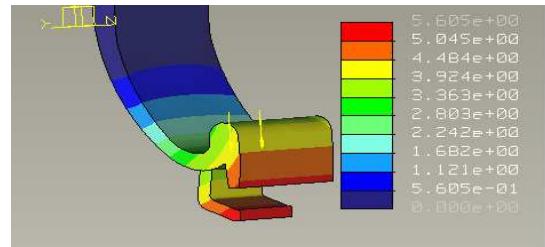
**Figura 6.23** Condiciones contorno función colgado vertical.



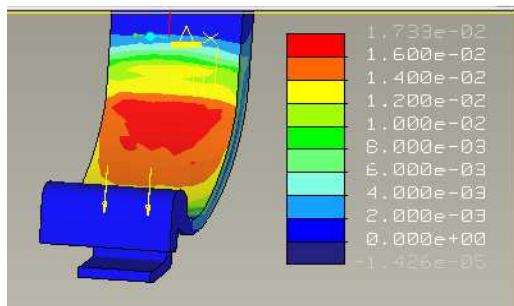
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos de la pieza prototipo estrecho en la función del colgado vertical de la luminaria:



**Figura 6.24** Tensiones (MPa)



**Figura 6.25** Desplazamientos (mm)



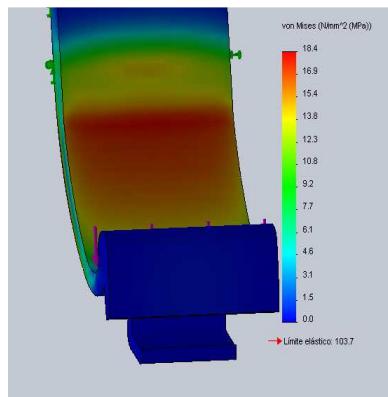
**Figura 6.26** Deformaciones unitarias (N/D)

La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado vertical del programa Pro-engineer:

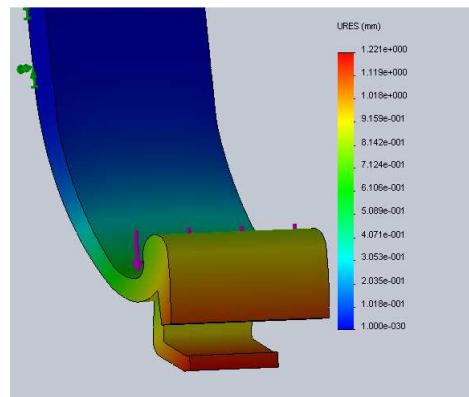
Caso	E (MPa)	F (Kg)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\epsilon$ (%)	C.S
Húmeda	3000	7.5	52	3.36	1.73	<b>2.2</b>
Húmeda	3000	2.5	17	1.12	0.57	<b>6.7</b>
Seca	4900	7.5	52	2.05	1.06	<b>2.9</b>
Seca	4900	2.5	17	0.68	0.35	<b>9.1</b>



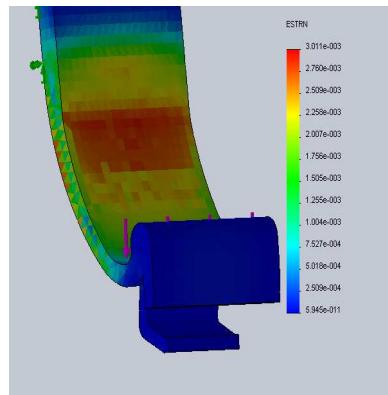
A continuación se muestra los resultados obtenidos con el programa Solid Works para el caso no lineal:



**Figura 6.36 Tensiones (MPa)**



**Figura 6.37 Desplazamientos (mm)**



**Figura 6.38 Deformaciones unitarias (N/D)**

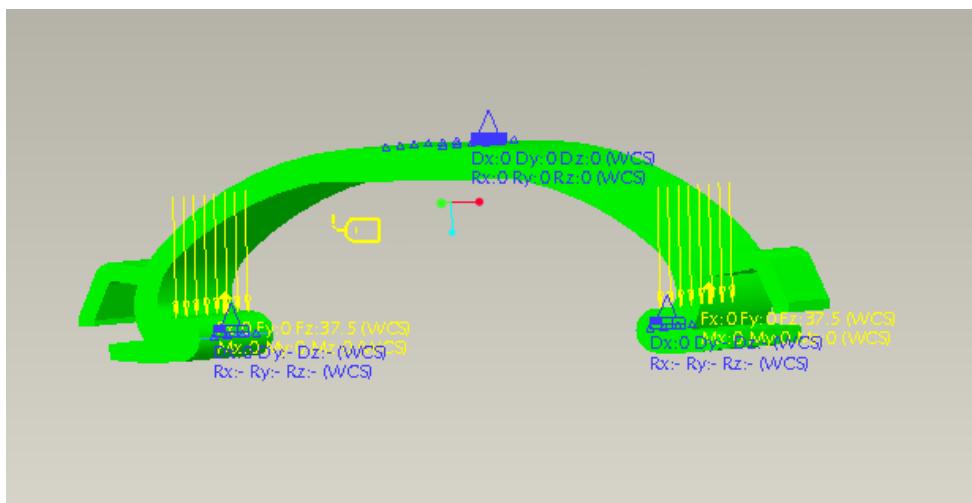
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado vertical del programa Solid Works:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
no lineal	2.5	3000	18	0.81	0.3	<b>6.4</b>



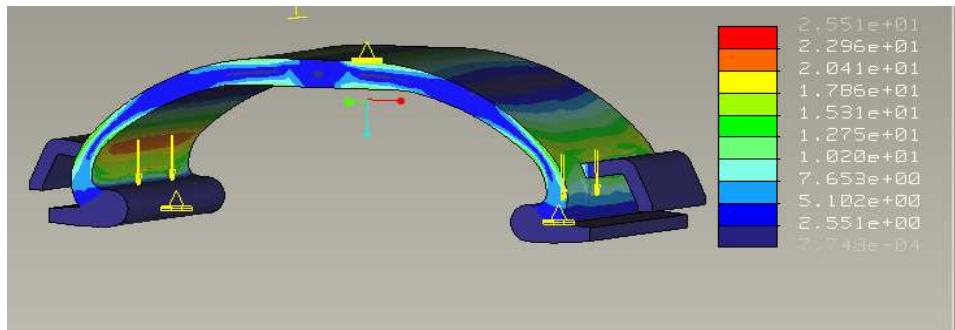
### 6.2.3 - FUNCION COLGADO HORIZONTAL

Esta función determina el caso en el que la luminaria está atornillada al techo. Para esta función se ha propuesto una fuerza vertical sobre cada lado. La fuerza tiene un valor de 37,5 Nw, que son equivalentes a los 1,25 Kg que recibe cada lado del clip debido al peso de la luminaria por un coeficiente de seguridad de 3. Los puntos de anclaje elegidos para esta función son la parte central de la pieza que es por donde se atornilla al techo y los laterales de la pieza también se simulan anclados porque una vez clipada la pieza en la luminaria no puede abrirse hacia los lados.

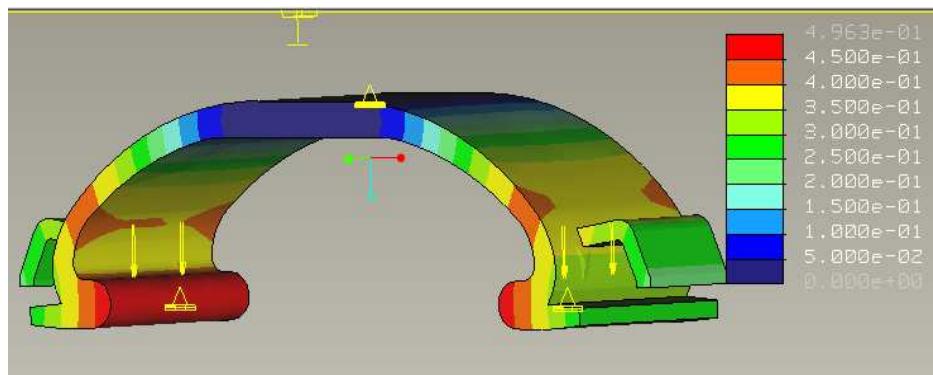


**Figura 6.27** Condiciones contorno función colgado horizontal.

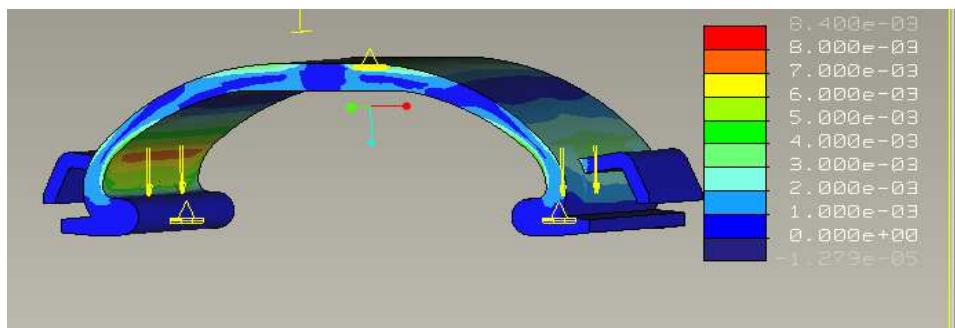
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos del prototipo estrecho en la función del colgado horizontal de la luminaria:



**Figura 6.28 Tensiones (MPa)**



**Figura 6.29 Desplazamientos (mm)**



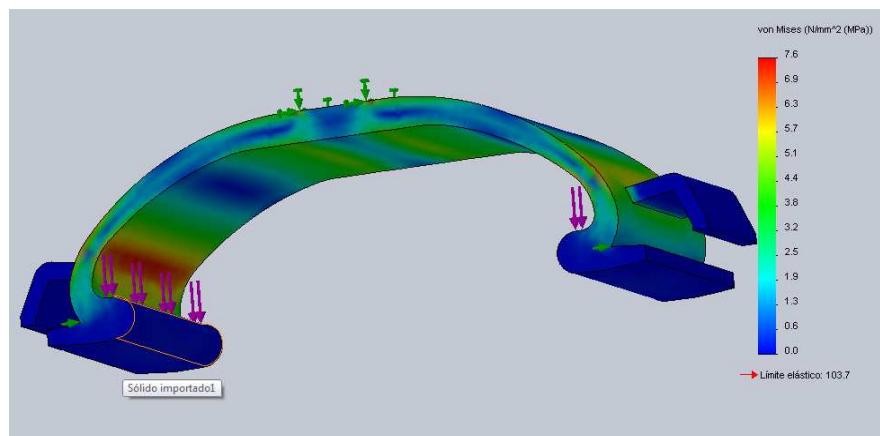
**Figura 6.30 Deformaciones unitarias (N/D)**



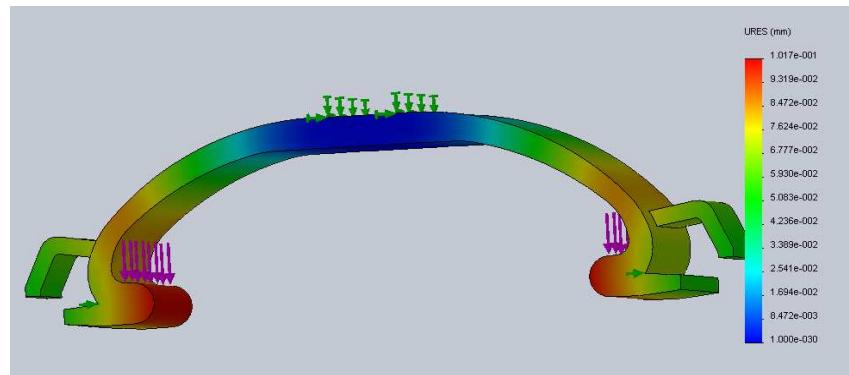
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado horizontal del programa Pro-engineer:

Caso	E (MPa)	F (Kg)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	3000	7.5	23	0.49	0.8	<b>5</b>
Húmeda	3000	2.5	7.7	0.16	0.26	<b>14.9</b>
Seca	4900	7.5	23	0.3	0.49	<b>6.7</b>
Seca	4900	2.5	7.7	0.1	0.16	<b>20</b>

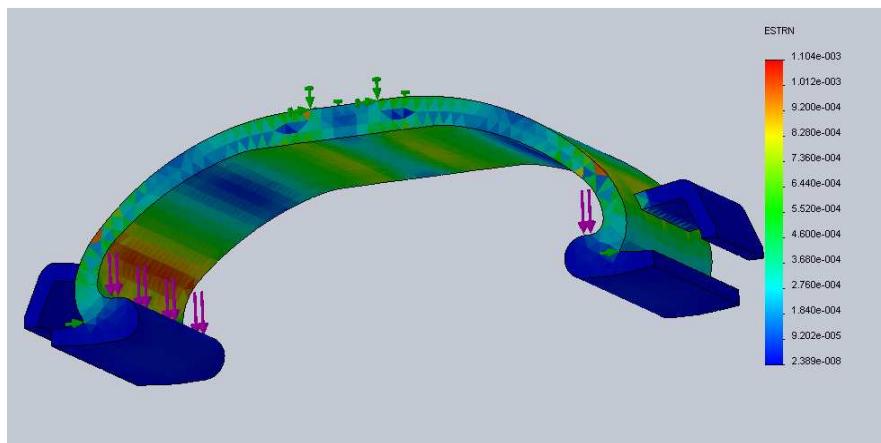
A continuación se muestra los resultados obtenidos con el programa Solid Works para el caso no lineal:



**Figura 6.36 Tensiones (MPa)**



**Figura 6.37 Desplazamientos (mm)**



**Figura 6.38 Deformaciones unitarias (N/D)**

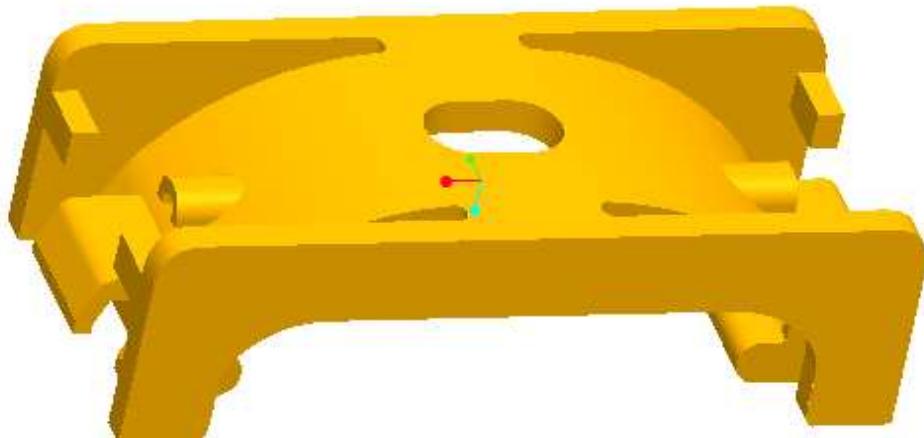
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado horizontal del programa Solid Works:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
no lineal	2.5	3000	7.5	0.1	0.11	<b>15.3</b>



## 6.3 – ANÁLISIS DE LA PIEZA ANCLAJE ESTRECHO:

Esta pieza es la pieza final diseñada en plástico a partir de la pieza prototipo fabricada anteriormente. La pieza ha sido diseñada por el programa Pro-engineer. La anchura de esta pieza en la zona de clipado es de 38 mm. Las propiedades del material son las anteriormente expuestas en el apartado 5 de este proyecto.



**Figura 6.31** Pieza estrecha final en plástico del clip de sujeción .

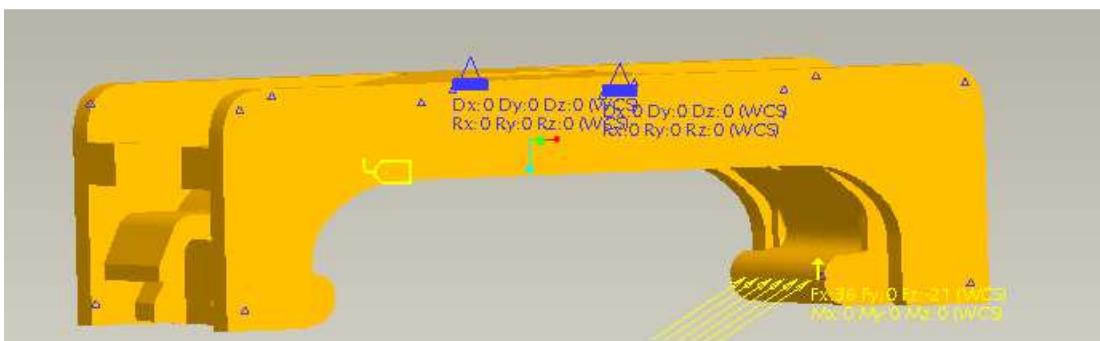
Los análisis por elementos finitos en el modelo lineal se han realizado con el programa PRO-Engineer y el programa Solid Works obteniendo resultados muy similares con ambos programas. Se muestran para el caso lineal del anclaje estrecho imágenes correspondientes a las tensiones, los desplazamientos y las deformaciones unitarias con PRO-Engineer. Para poder comparar los resultados con el caso no lineal se ha realizado análisis con el programa Solid Works.



### 6.3.1 - FUNCION CLIPADO

Para la función clipado se ha calculado la fuerza necesaria que necesitaríamos ejercer para obtener el desplazamiento deseado (calculado en el apartado 4), en este caso 3,2 mm. Para ello hemos descompuesto las fuerzas en vertical y horizontal pero siempre manteniendo la proporcionalidad entre ellas para que el ángulo de incidencia de las fuerzas sobre la pieza fuera siempre la misma. Para este caso se calcularon una fuerza horizontal (eje X) de 36 Nw y una fuerza vertical (eje Y) de 21 Nw.

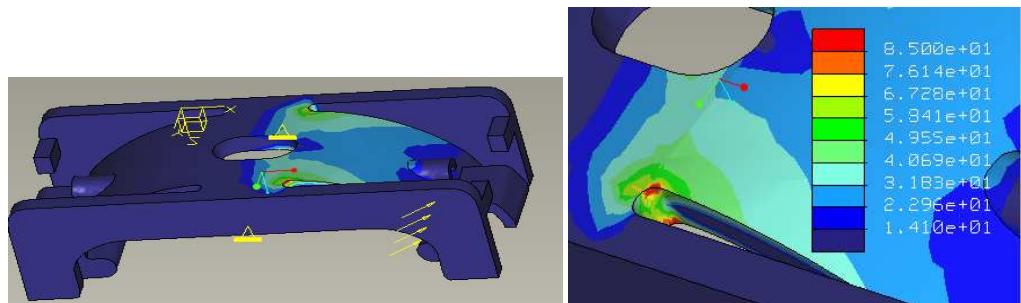
Los puntos de anclaje son la parte superior que se considera inmóvil porque cuando ejercemos la fuerza para clipar la pieza no se mueve y la parte simétrica del punto donde se ejerce la fuerza también está anclado para simular fielmente el proceso de clipado en la pieza.



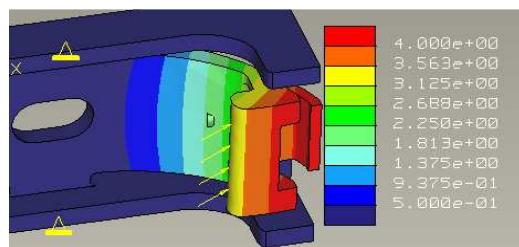
**Figura 6.32** Condiciones contorno función clipado.



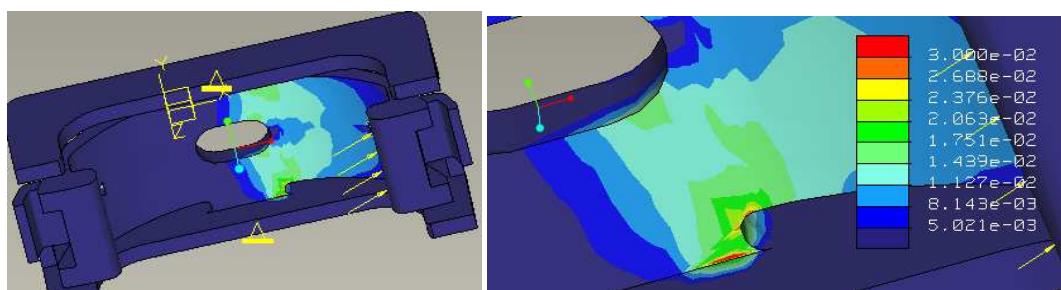
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos en el caso lineal de la pieza anclaje estrecho en la función del clipado sobre la luminaria:



**Figura 6.33 Tensiones (MPa)**



**Figura 6.34 Desplazamientos (mm)**



**Figura 6.35 Deformaciones unitarias (N/D)**



La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del clipado del programa Pro-engineer:

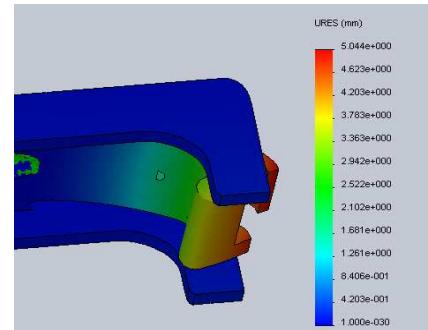
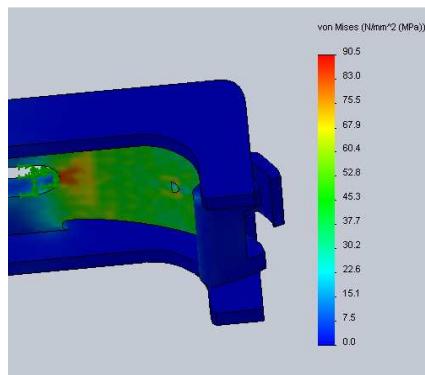
Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	<b>4.17</b>	3000	85	3.2	2.68	<b>1.35</b>
Seca	<b>6.8</b>	4900	138	3.2	2.68	<b>1.12</b>
Fría 0º	<b>5.25</b>	3800	107	3.2	2.68	<b>1.31</b>
Caliente 40º	<b>2.5</b>	1800	51	3.2	2.68	<b>1.6</b>

\* Al ser el clipado un proceso de muy corta duración se establece el coeficiente de seguridad mínimo en 1.

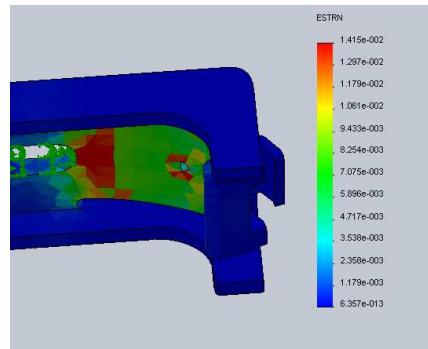
Los cálculos realizados en el programa informático corresponden a la pieza en estado húmedo, el resto de resultados se han conseguido usando la proporcionalidad que nos da el módulo elástico del material en cada estado.



A continuación se muestra los resultados obtenidos con el programa Solid Works para el caso no lineal:



**Figura 6.36** Tensiones (MPa)    **Figura 6.37** Desplazamientos (mm)



**Figura 6.38** Deformaciones unitarias (N/D)

La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del clipado del programa Solid Works:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
no lineal	<b>9.3</b>	3000	90	3.2	1.4	<b>1.27</b>

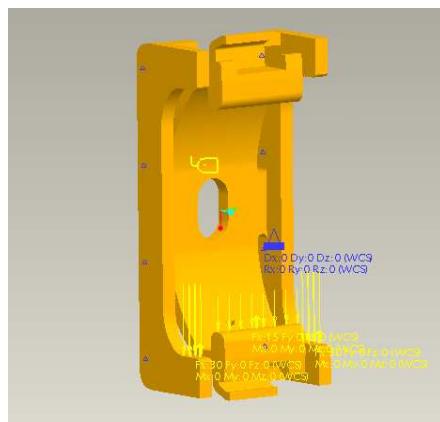


### 6.3.2 - FUNCION COLGADO VERTICAL

Esta función determina el caso en el que la luminaria está atornillada a la pared de forma paralela al suelo. Para esta función se ha propuesto una fuerza vertical sobre uno de los lados, dejando el lado contrario libre de cargas. La fuerza tiene un valor de 75 Nw, que son equivalentes a los 2,5 Kg que pesa la luminaria multiplicado por un coeficiente de 3. El punto de anclaje elegido para esta función es solamente la parte central de la pieza que es por donde se atornilla a la pared.

Se han realizado dos repartos de cargas distintos, el primero simula la condición real de contorno que sufre la pieza y el segundo simula que el peso sufrido por la pieza solamente lo soportan las patas laterales de la pieza.

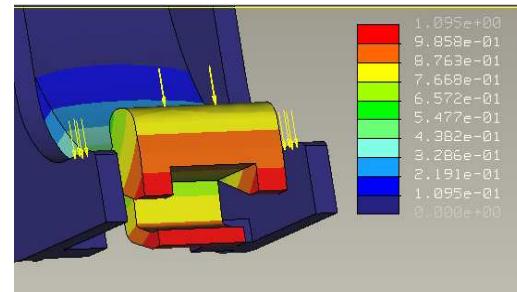
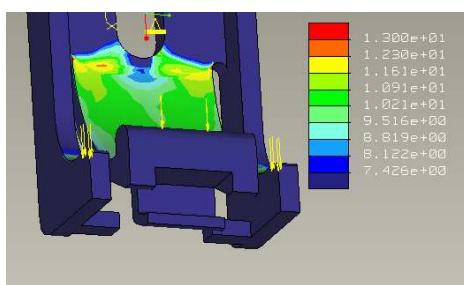
- **OPCION DE REPARTO 1** (30 Nw + 30 Nw en las patas y 15 Nw en la parte central):



**Figura 6.39** Condiciones contorno función colgado vertical opción reparto 1.

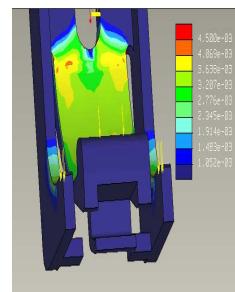


A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos de la pieza anclaje estrecho en la función del colgado vertical de la luminaria para la opción de reparto 1:



**Figura 6.40** Tensiones (MPa)

**Figura 6.41** Desplazamientos (mm)



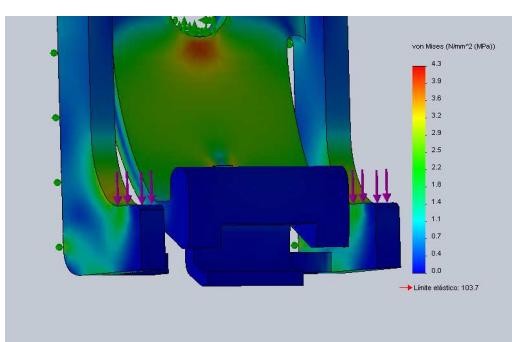
**Figura 6.42** Deformaciones unitarias (N/D)

La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado vertical del programa Pro-engineer:

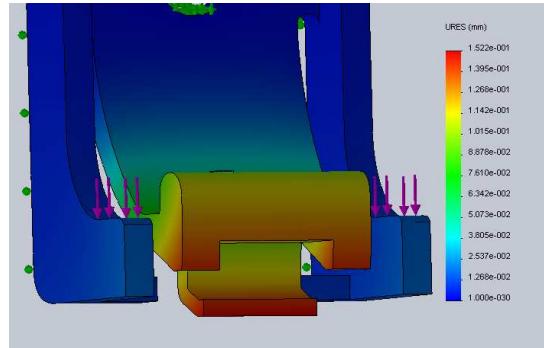
Caso	E (MPa)	F (Kg)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	3000	7.5	12.3	0.77	0.4	<b>9.3</b>
Húmeda	3000	2.5	4.1	0.25	0.13	<b>28</b>
Seca	4900	7.5	12.3	0.47	0.3	<b>12.6</b>
Seca	4900	2.5	4.1	0.15	0.1	<b>37.8</b>



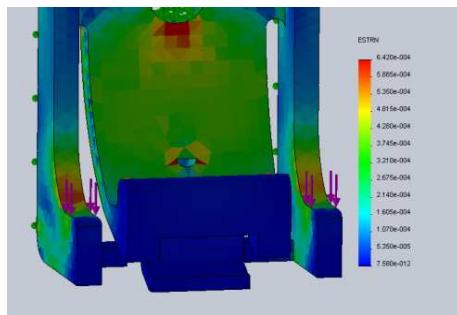
A continuación se muestra los resultados obtenidos con el programa Solid Works para el caso no lineal, para este caso se ha calculado con un peso de 2,5 Kg que es el peso real por no poder extrapolar al ser un caso no lineal:



**Figura 6.43** Tensiones (MPa)



**Figura 6.44** Desplazamientos (mm)



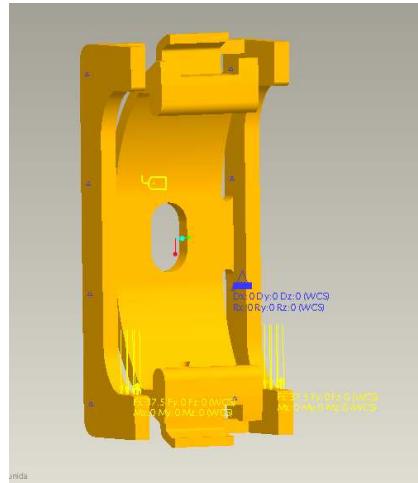
**Figura 6.45** Deformaciones unitarias (N/D)

La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado vertical del programa Solid Works para la opción de reparto 1:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
no lineal	2.5	3000	4.3	0.1	0.06	<b>26.7</b>

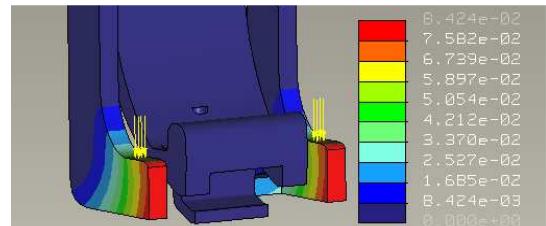
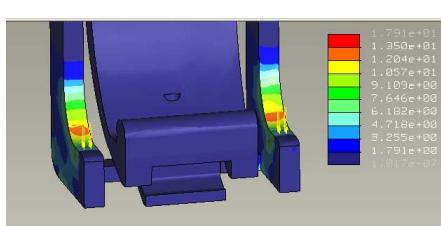


▪ **OPCION DE REPARTO 2** (37.5 Nw + 37.5Nw en cada pata):

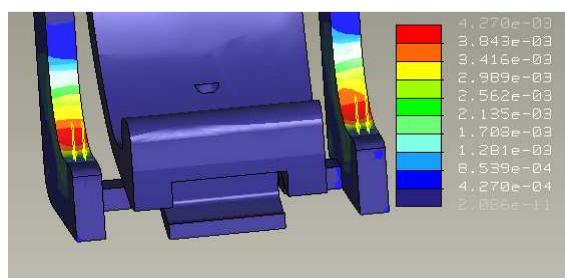


**Figura 6.46** Condiciones contorno función colgado vertical opción reparto 2.

A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos de la pieza anclaje estrecho en la función del colgado vertical de la luminaria para la opción de reparto 2:



**Figura 6.47** Tensiones (MPa)    **Figura 6.48** Desplazamientos (mm)



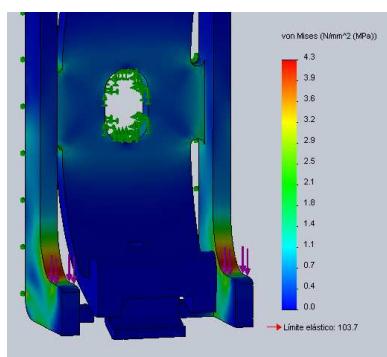
**Figura 6.49** Deformaciones unitarias (N/D)



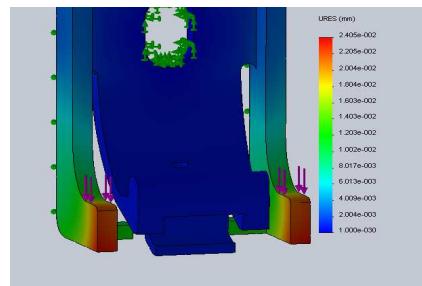
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado vertical del programa Pro-engineer:

Caso	E (MPa)	F (Kg)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	3000	7.5	13	0.08	0.42	<b>8.8</b>
Húmeda	3000	2.5	4,3	0.02	0.14	<b>26.7</b>
Seca	4900	7.5	13	0.04	0.25	<b>11.9</b>
Seca	4900	2.5	4,3	0.01	0.08	<b>36</b>

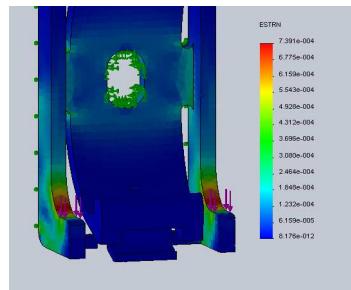
A continuación se muestra los resultados obtenidos con el programa Solid Works para el caso no lineal, para este caso se ha calculado con un peso de 2,5 Kg que es el peso real por no poder extrapolar al ser un caso no lineal:



**Figura 6.50** Tensiones (MPa)



**Figura 6.51** Desplazamientos (mm)



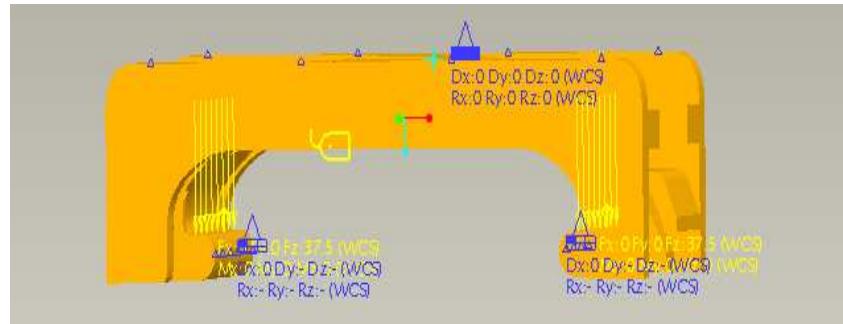
**Figura 6.52 Deformaciones unitarias (N/D)**

La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado vertical del programa Solid Works para la opción de reparto 2:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
no lineal	2.5	3000	4.3	0.02	0.07	<b>26.7</b>

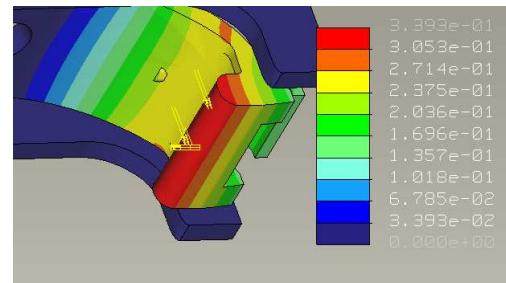
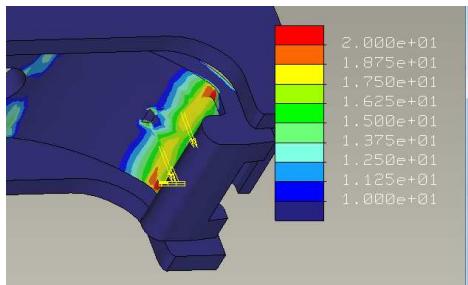
### **6.3.3 - FUNCION COLGADO HORIZONTAL**

Esta función determina el caso en el que la luminaria está atornillada al techo. Para esta función se ha propuesto una fuerza vertical sobre cada lado. La fuerza tiene un valor de 37,5 Nw, que son equivalentes a los 1,25 Kg que recibe cada lado del clip por el peso de la luminaria multiplicado por un coeficiente de seguridad de 3. Los puntos de anclaje elegidos para esta función son la parte central de la pieza que es por donde se atornilla al techo y los laterales de la pieza también se simulan anclados porque una vez clipada la pieza en la luminaria no puede abrirse hacia los lados.



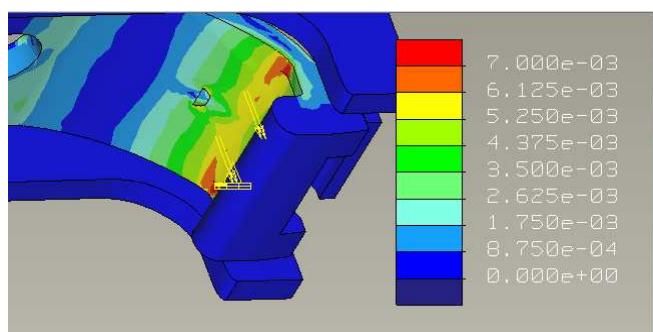
**Figura 6.39** Condiciones contorno función colgado horizontal.

A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos en el caso lineal de la pieza anclaje estrecho en la función del colgado horizontal de la luminaria:



**Figura 6.40** Tensiones (MPa)

**Figura 6.41** Desplazamientos (mm)



**Figura 6.42** Deformaciones unitarias (N/D)

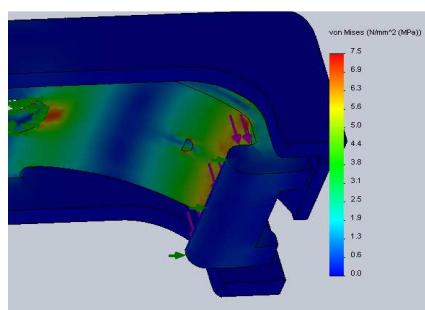


La siguiente tabla nos muestra los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado horizontal del programa Pro-engineer:

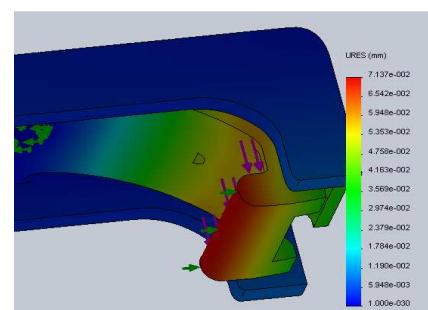
Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	7.5	3000	20	0.3	0.7	<b>5.75</b>
Húmeda	2.5	3000	6.6	0.1	0.23	<b>17.4</b>
Seca	7.5	4900	20	0.18	0.42	<b>7.75</b>
Seca	2.5	4900	6.6	0.06	0.14	<b>23.5</b>

Los cálculos realizados en el programa informático corresponden a la pieza en estado húmedo con 7,5 Kg de peso, el resto de resultados se han conseguido de forma teórica por ser un comportamiento lineal extrapolando.

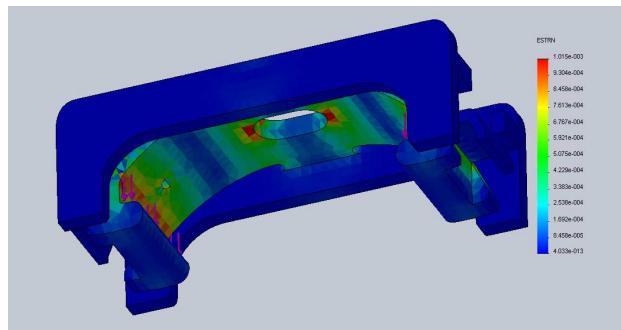
A continuación se muestra los resultados obtenidos con el programa Solid Works para el caso no lineal, para este caso se ha calculado con un peso de 2,5 Kg que es el peso real por no poder extrapolar al ser un caso no lineal:



**Figura 6.43** Tensiones (MPa)



**Figura 6.44** Desplazamientos (mm)



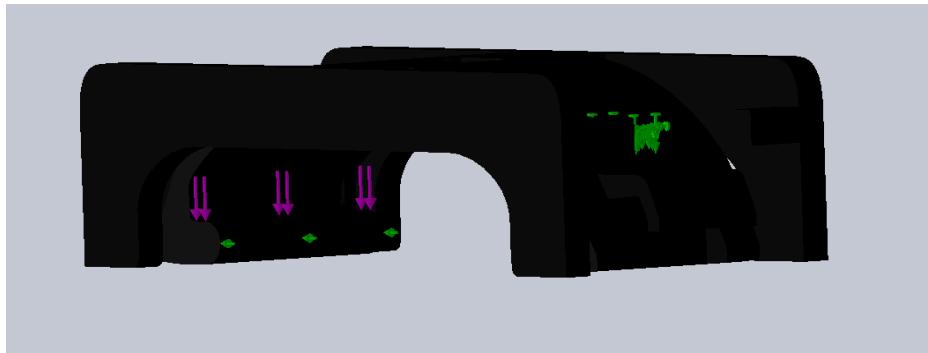
**Figura 6.45 Deformaciones unitarias (N/D)**

La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado horizontal del programa Solid Works:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
no lineal	2.5	3000	7	0.07	0.10	<b>16.4</b>

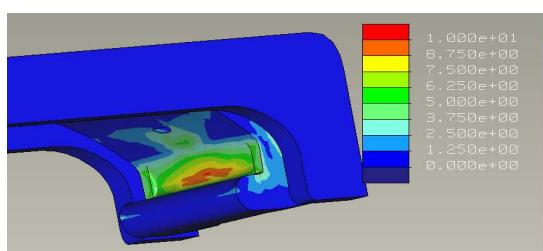
### **6.3.4 - FUNCION COLGADO HORIZONTAL POR TRIANGULO**

Esta función determina el caso en el que la luminaria está colgada por un triangulo en el techo. Para esta función se ha propuesto la misma fuerza vertical que en la función de colgado horizontal sin triangulo. La fuerza tiene un valor de 12,5 Nw, que son equivalentes a los 1,25 Kg que recibe cada lado del clip por el peso de la luminaria. Los puntos de anclaje elegidos para esta función son los agujeros preparados para el triangulo metálico y los laterales de la pieza también se simulan anclados porque una vez clipada la pieza en la luminaria no puede abrirse hacia los lados.

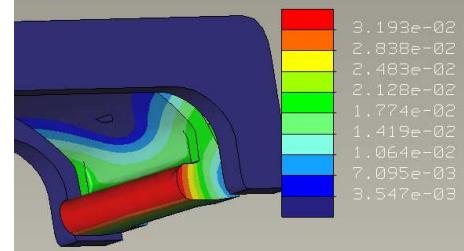


**Figura 6.46** Condiciones contorno función colgado horizontal por triangulo.

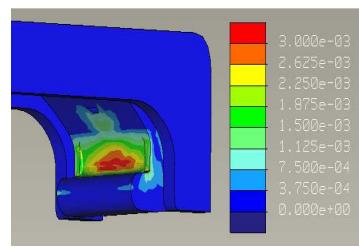
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos en el caso lineal del anclaje estrecho en la función del colgado horizontal por triangulo de la luminaria:



**Figura 6.47** Tensiones (MPa)



**Figura 6.48** Desplazamientos (mm)



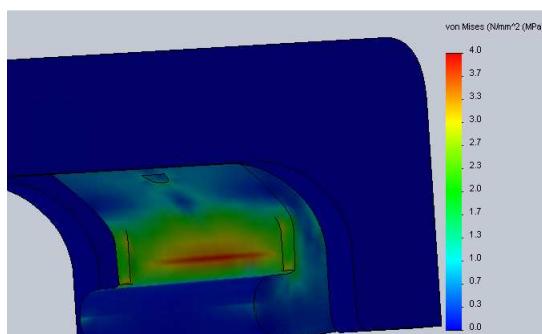
**Figura 6.49** Deformaciones unitarias (N/D)



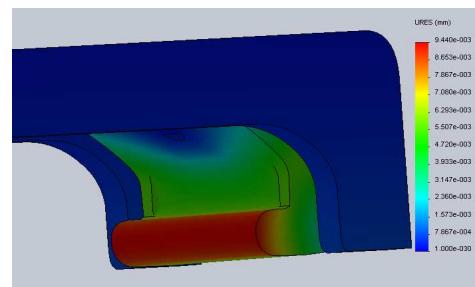
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado horizontal por triangulo del programa Pro-engineer:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	7.5	3000	10	0.03	0.3	<b>11.5</b>
Húmeda	2.5	3000	3.3	0.01	0.1	<b>34.8</b>
Seca	7.5	4900	10	0.02	0.06	<b>15.5</b>
Seca	2.5	4900	3.3	0.006	0.02	<b>46.9</b>

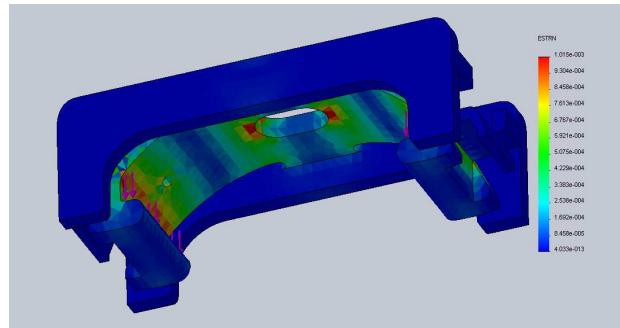
A continuación se muestra los resultados obtenidos con el programa Solid Works para el caso no lineal, para este caso se ha calculado con un peso de 2,5 Kg que es el peso real por no poder extrapolar al ser un caso no lineal:



**Figura 6.50** Tensiones (MPa)



**Figura 6.51** Desplazamientos (mm)



**Figura 6.52 Deformaciones unitarias (N/D)**

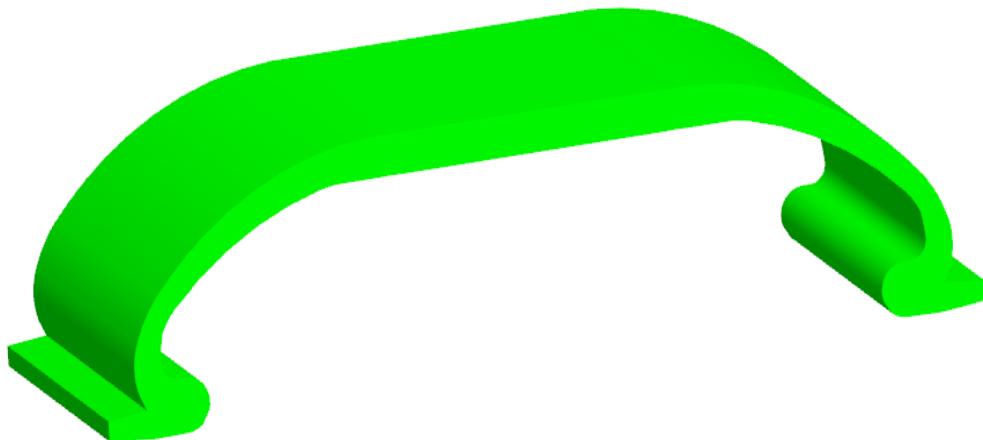
La siguiente tabla nos muestra los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado horizontal por triangulo del programa Solid Works:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
no lineal	2.5	3000	4	0.01	0.04	<b>28.7</b>



## 6.4 – ANÁLISIS DE LA PIEZA PROTOTIPO ANCHO:

Esta pieza es el primer prototipo diseñado en plástico a partir de la pieza metálica fabricada actualmente. La pieza ha sido diseñada por el programa Pro-engineer. La anchura de esta pieza en la zona de clipado es de 52 mm. Las propiedades del material son las anteriormente expuestas en el apartado 5 de este proyecto.



**Figura 6.55** Prototipo ancho en plástico del clip de sujeción .

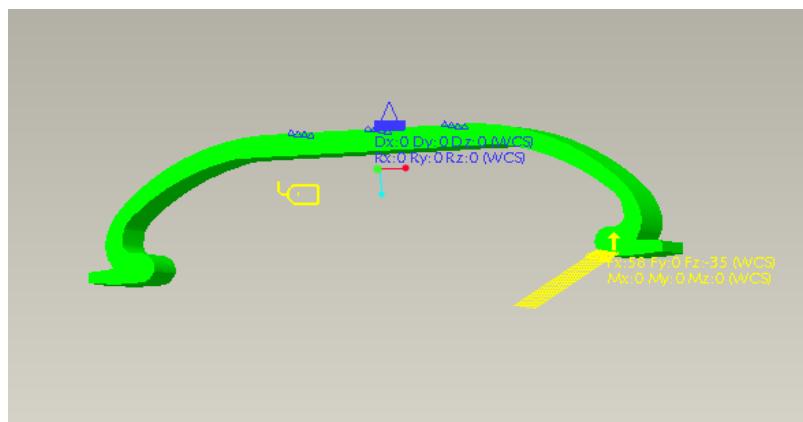
Los análisis por elementos finitos se han realizado con el programa PRO-Engineer y el programa Solid Works obteniendo resultados muy similares con ambos programas. Se muestran para este caso del prototipo ancho imágenes correspondientes a las tensiones, los desplazamientos y las deformaciones unitarias con PRO-Engineer. No se ha tenido en cuenta el colgado por triangulo ya que en el prototipo no se puede realizar esa función.



### 6.2.1 - FUNCION CLIPADO

Para la función clipado se ha calculado la fuerza necesaria que necesitaríamos ejercer para obtener el desplazamiento deseado (calculado en el apartado 4) que serán aproximadamente unos 2,3 cm. Para ello hemos descompuesto las fuerzas en vertical y horizontal pero siempre manteniendo la proporcionalidad entre ellas para que el ángulo de incidencia de las fuerzas sobre la pieza fuera siempre la misma. Para este caso se calcularon una fuerza horizontal (eje X) de 58 Nw y una fuerza vertical (eje Y) de 35 Nw.

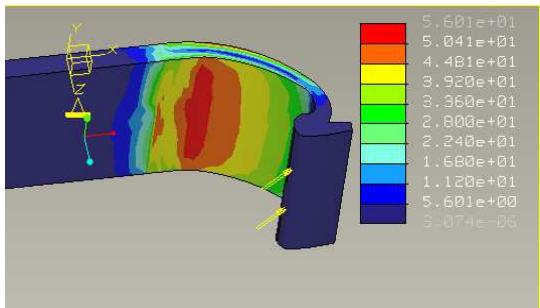
Los puntos de anclaje son la parte superior que se considera inmóvil porque cuando ejercemos la fuerza para clipar la pieza no se mueve y la parte simétrica del punto donde se ejerce la fuerza también está anclado para simular fielmente el proceso de clipado en la pieza.



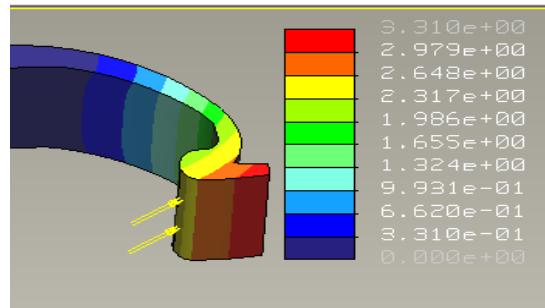
**Figura 6.53** Condiciones contorno pieza prototipo ancho.



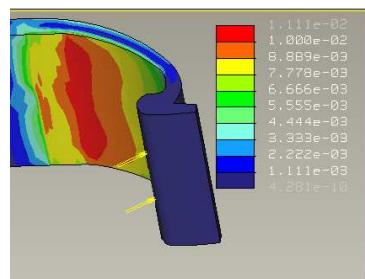
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos de la pieza prototipo ancho en la función del clipado sobre la luminaria:



**Figura 6.54** Tensiones (MPa)



**Figura 6.55** Desplazamientos (mm)



**Figura 6.56** Deformaciones unitarias (N/D)

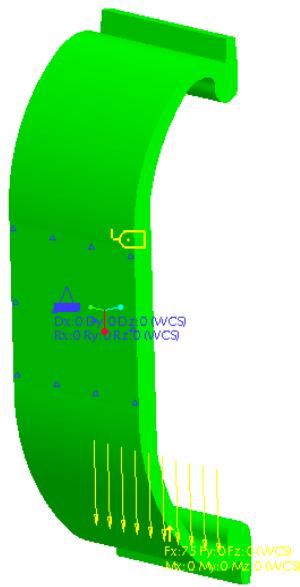
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del clipado del programa Pro-engineer:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\epsilon$ (%)	C.S
Húmeda	<b>6.7</b>	3000	56	2.3	1.1	<b>2</b>
Seca	<b>11</b>	4900	91	2.3	1.1	<b>1.7</b>
Fría 0º	<b>8.5</b>	3800	71	2.3	1.1	<b>2</b>
Caliente 40º	<b>4</b>	1800	33	2.3	1.1	<b>2.5</b>



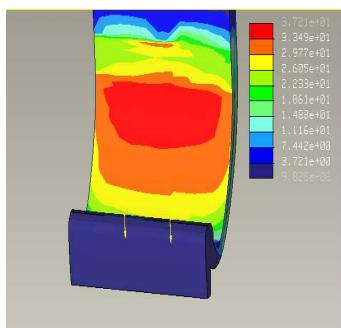
### 6.2.2 - FUNCION COLGADO VERTICAL

Esta función determina el caso en el que la luminaria está atornillada a la pared de forma paralela al suelo. Para esta función se ha propuesto una fuerza vertical sobre uno de los lados, dejando el lado contrario libre de cargas. La fuerza tiene un valor de 75 Nw, que son equivalentes a los 2,5 Kg que pesa la luminaria por un coeficiente de seguridad de 3, que es lo solicitado por el fabricante.. El punto de anclaje elegido para esta función es solamente la parte central de la pieza que es por donde se atornilla a la pared.

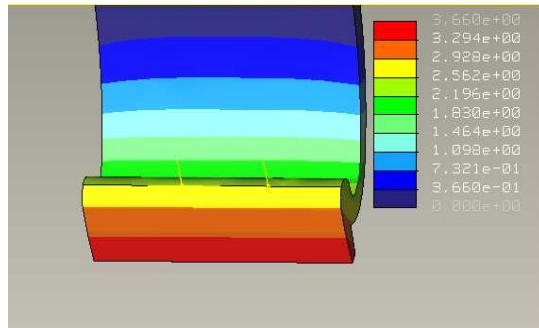


**Figura 6.57** Condiciones contorno función colgado vertical.

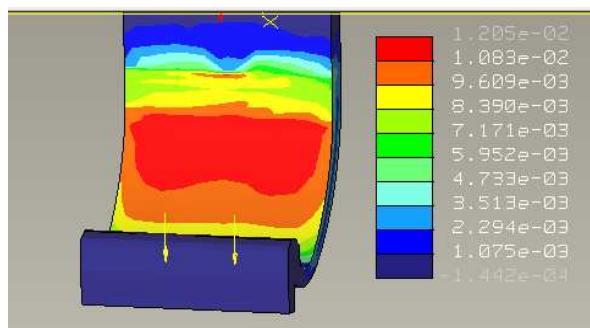
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos del prototipo ancho en la función del colgado vertical de la luminaria:



**Figura 6.58** Tensiones (MPa)



**Figura 6.59** Desplazamientos (mm)



**Figura 6.60** Deformaciones unitarias (N/D)

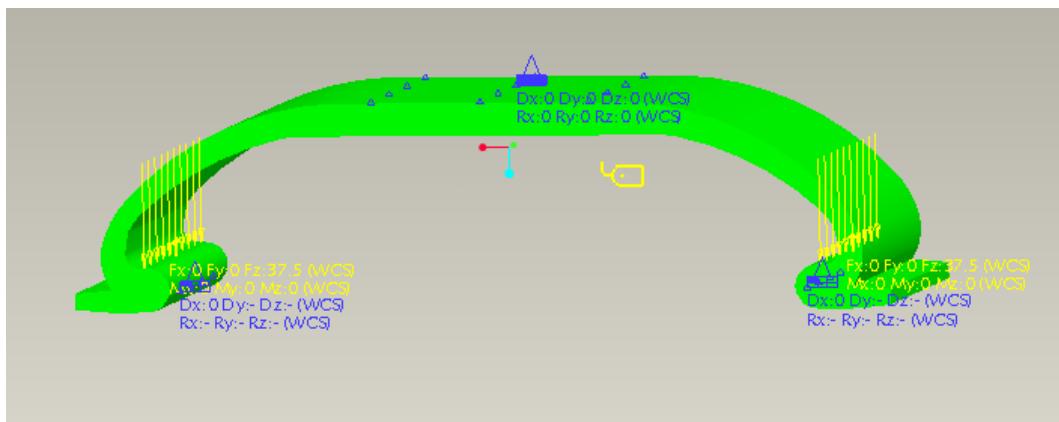
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado vertical del programa Pro-engineer:

Caso	E (MPa)	F (Kg)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	3000	7.5	37	2.56	1.2	<b>3.1</b>
Húmeda	3000	2.5	12	0.85	0.4	<b>9.5</b>
Seca	4900	7.5	37	1.57	0.73	<b>4.2</b>
Seca	4900	2.5	12	0.52	0.24	<b>13</b>



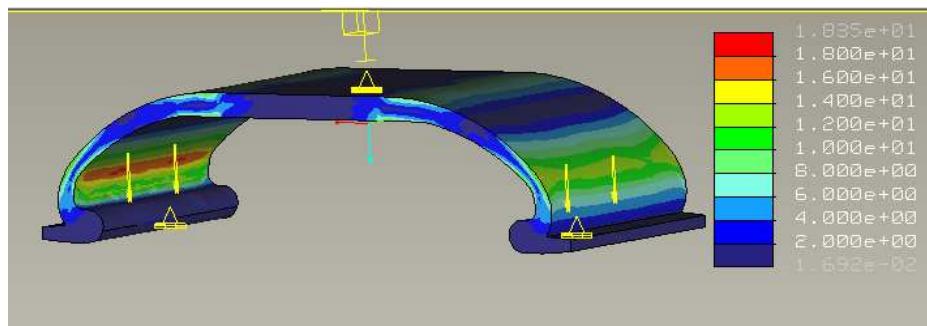
### 6.2.3 - FUNCION COLGADO HORIZONTAL

Esta función determina el caso en el que la luminaria está atornillada al techo. Para esta función se ha propuesto una fuerza vertical sobre cada lado. La fuerza tiene un valor de 37,5 Nw, que son equivalentes a los 1,25 Kg que recibe cada lado del clip debido al peso de la luminaria por un coeficiente de seguridad de 3. Los puntos de anclaje elegidos para esta función son la parte central de la pieza que es por donde se atornilla al techo y los laterales de la pieza también se simulan anclados porque una vez clipada la pieza en la luminaria no puede abrirse hacia los lados.

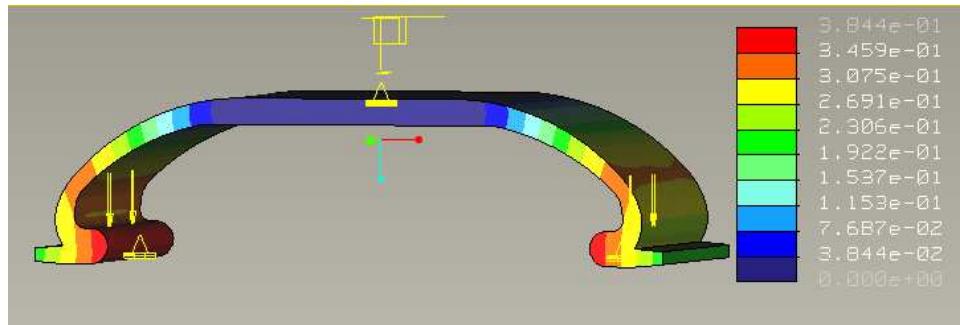


**Figura 6.61** Condiciones contorno función colgado horizontal.

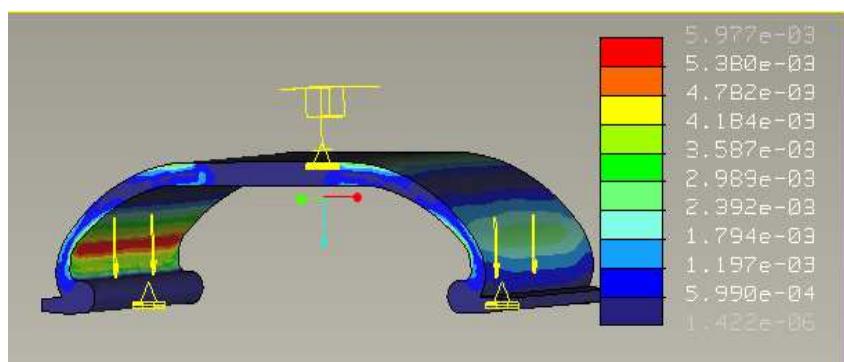
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos del prototipo ancho en la función del colgado horizontal de la luminaria:



**Figura 6.62 Tensiones (MPa)**



**Figura 6.63 Desplazamientos (mm)**



**Figura 6.64 Deformaciones unitarias (N/D)**



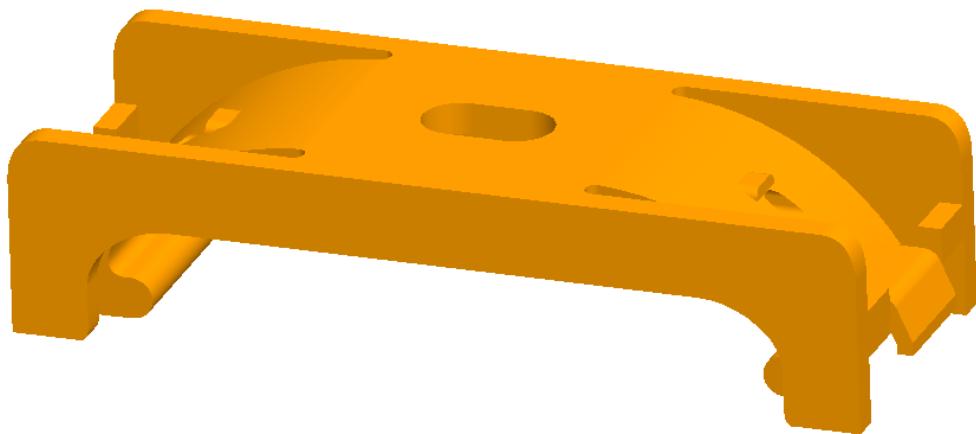
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado horizontal del programa Pro-engineer:

Caso	E (MPa)	F (Kg)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	3000	7.5	18	0.38	0.59	<b>6.4</b>
Húmeda	3000	2.5	6	0.12	0.19	<b>19</b>
Seca	4900	7.5	18	0.23	0.36	<b>8.6</b>
Seca	4900	2.5	6	0.07	0.12	<b>25.8</b>



## 6.5 – ANÁLISIS DE LA PIEZA ANCLAJE ANCHO:

Esta pieza es la pieza final diseñada en plástico a partir de la pieza prototipo fabricada anteriormente. La pieza ha sido diseñada por el programa Pro-engineer. La anchura de esta pieza en la zona de clipado es de 52 mm. Las propiedades del material son las anteriormente expuestas en el apartado 5 de este proyecto.



**Figura 6.65** Pieza final ancha en plástico del clip de sujeción .

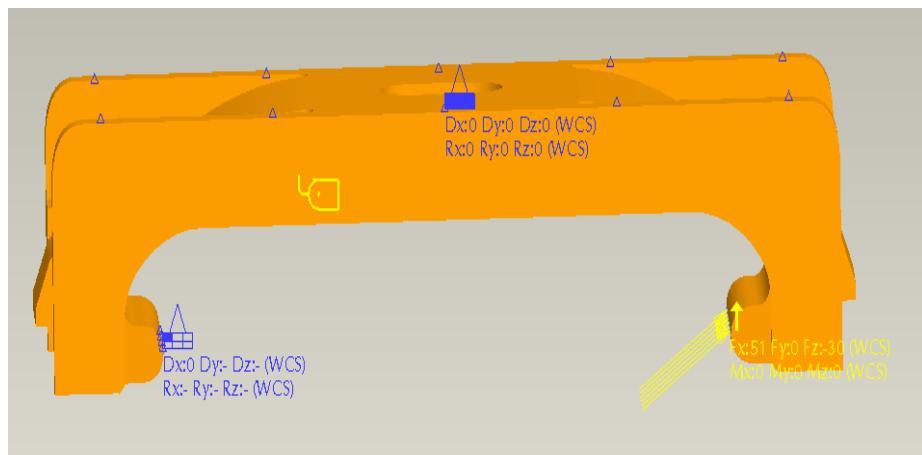
Los análisis por elementos finitos en el modelo lineal se han realizado con el programa PRO-Engineer y el programa Solid Works obteniendo resultados muy similares con ambos programas. Se muestran para el caso lineal del anclaje ancho imágenes correspondientes a las tensiones, los desplazamientos y las deformaciones unitarias con PRO-Engineer.



### 6.5.1 - FUNCION CLIPADO

Para la función clipado se ha calculado la fuerza necesaria que necesitaríamos ejercer para obtener el desplazamiento deseado (calculado en el apartado 4), en este caso 3,2 cm.. Para ello hemos descompuesto las fuerzas en vertical y horizontal pero siempre manteniendo la proporcionalidad entre ellas para que el ángulo de incidencia de las fuerzas sobre la pieza fuera siempre la misma. Para este caso se calcularon una fuerza horizontal (eje X) de 51 Nw y una fuerza vertical (eje Y) de 30 Nw.

Los puntos de anclaje son la parte superior que se considera inmóvil porque cuando ejercemos la fuerza para clipar la pieza no se mueve y la parte simétrica del punto donde se ejerce la fuerza también está anclado para simular fielmente el proceso de clipado en la pieza.



**Figura 6.66** Condiciones contorno función clipado.



A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos en el caso lineal de la pieza anclaje ancho en la función del clipado sobre la luminaria:

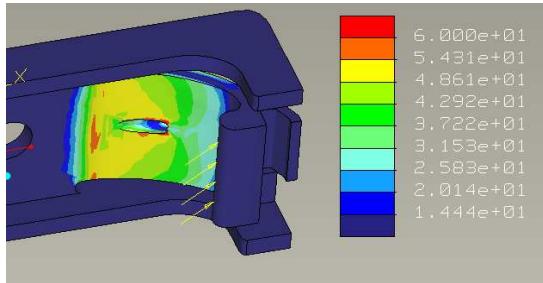


Figura 6.67 Tensiones (MPa)

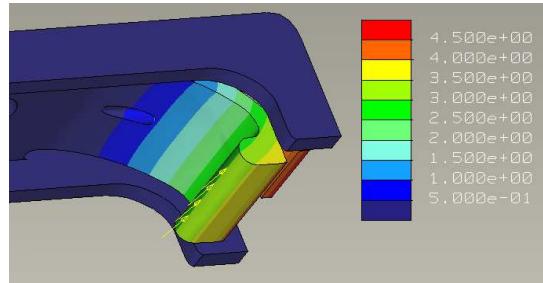


Figura 6.68 Desplazamientos (mm)

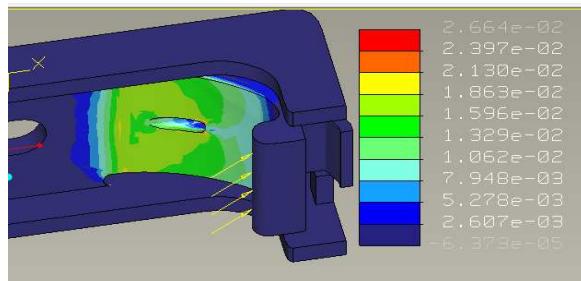


Figura 6.69 Deformaciones unitarias (N/D)

La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del clipado del programa Pro-engineer:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	<b>5.9</b>	3000	60	3.2	2.1	<b>1.9</b>
Seca	<b>9.6</b>	4900	98	3.2	2.1	<b>1.6</b>
Fría 0º	<b>7.5</b>	3800	76	3.2	2.1	<b>1.9</b>
Caliente 40º	<b>3.5</b>	1800	36	3.2	2.1	<b>2.3</b>



\* Al ser el clipado un proceso de muy corta duración se establece el coeficiente de seguridad mínimo en 1.

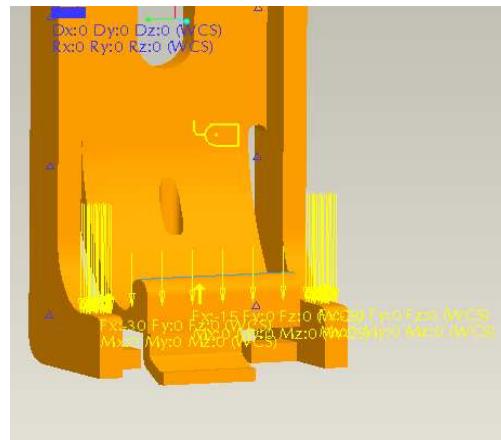
Los cálculos realizados en el programa informático corresponden a la pieza en estado húmedo, el resto de resultados se han conseguido usando la proporcionalidad que nos da el módulo elástico del material en cada estado.

### **6.5.2 - FUNCION COLGADO VERTICAL**

Esta función determina el caso en el que la luminaria está atornillada a la pared de forma paralela al suelo. Para esta función se ha propuesto una fuerza vertical sobre uno de los lados, dejando el lado contrario libre de cargas. La fuerza tiene un valor de 75 Nw, que son equivalentes a los 2,5 Kg que pesa la luminaria multiplicado por un coeficiente de 3. El punto de anclaje elegido para esta función es solamente la parte central de la pieza que es por donde se atornilla a la pared.

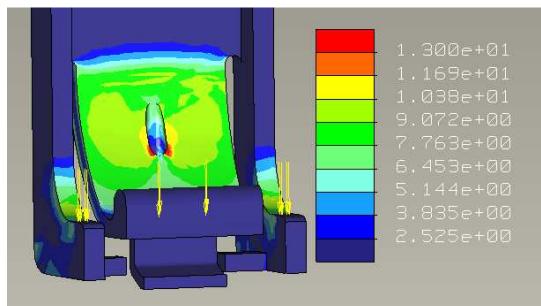
Se han realizado dos repartos de cargas distintos, el primero simula la condición real de contorno que sufre la pieza y el segundo simula que el peso sufrido por la pieza solamente lo soportan las patas laterales de la pieza.

- **OPCION DE REPARTO 1** (30 Nw + 30 Nw en las patas y 15 Nw en la parte central):

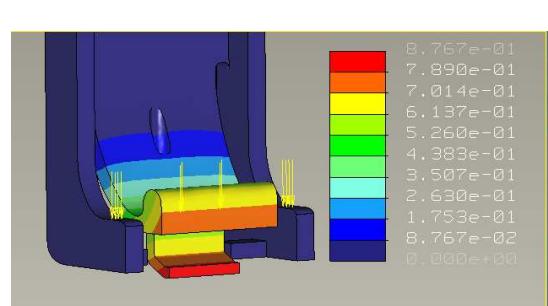


**Figura 6.73** Condiciones contorno función colgado vertical opción reparto 1.

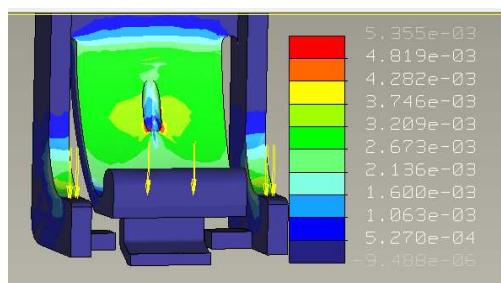
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos de la pieza anclaje ancho en la función del colgado vertical de la luminaria para la opción de reparto 1:



**Figura 6.74** Tensiones (MPa)



**Figura 6.75** Desplazamientos (mm)



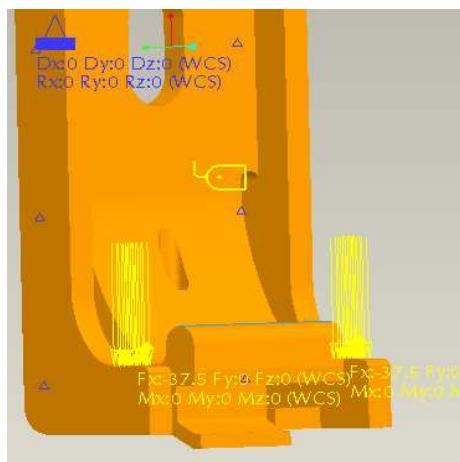
**Figura 6.76** Deformaciones unitarias (N/D)



La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado vertical del programa Pro-engineer:

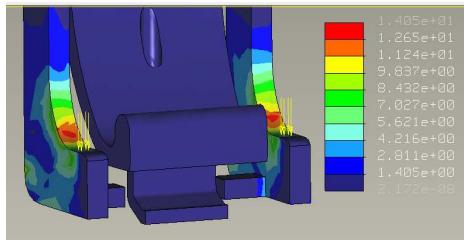
Caso	E (MPa)	F (Kg)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	3000	7.5	13	0.6	0.4	<b>8.8</b>
Húmeda	3000	2.5	4	0.2	0.16	<b>26.7</b>
Seca	4900	7.5	13	0.36	0.3	<b>11.9</b>
Seca	4900	2.5	4	0.12	0.1	<b>36</b>

▪ **OPCION DE REPARTO 2** (37.5 Nw + 37.5Nw en cada pata):

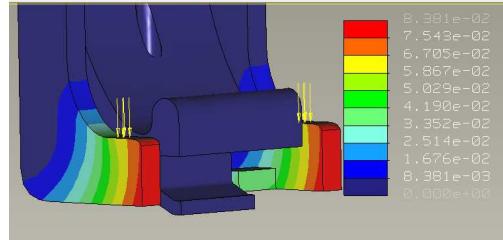


**Figura 6.80** Condiciones contorno función colgado vertical opción reparto 2.

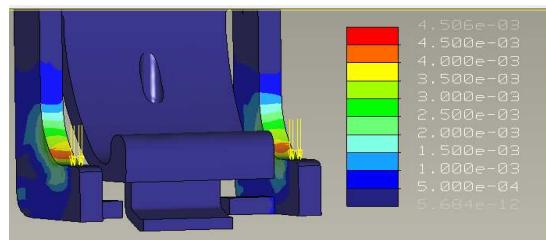
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos de la pieza anclaje ancho en la función del colgado vertical de la luminaria para la opción de reparto 2:



**Figura 6.81** Tensiones (MPa)



**Figura 6.82** Desplazamientos (mm)



**Figura 6.83** Deformaciones unitarias (N/D)

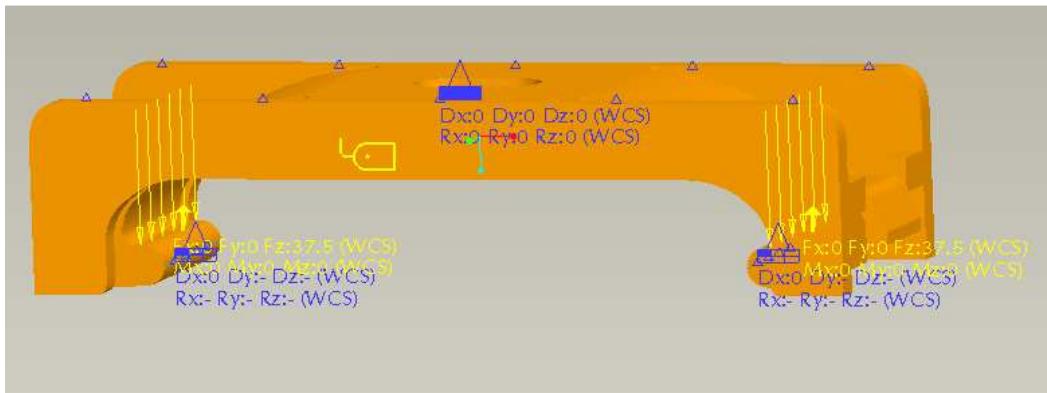
La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado vertical del programa Pro-engineer:

Caso	E (MPa)	F (Kg)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	3000	7.5	14	0.08	0.45	<b>8.2</b>
Húmeda	3000	2.5	4.5	0.02	0.15	<b>25</b>
Seca	4900	7.5	14	0.05	0.27	<b>11</b>
Seca	4900	2.5	4.5	0.01	0.09	<b>33.7</b>



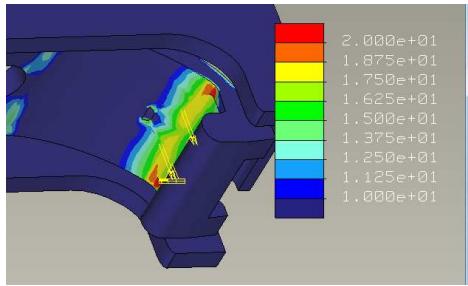
### 6.5.3 - FUNCION COLGADO HORIZONTAL

Esta función determina el caso en el que la luminaria está atornillada al techo. Para esta función se ha propuesto una fuerza vertical sobre cada lado. La fuerza tiene un valor de 37,5 Nw, que son equivalentes a los 1,25 Kg que recibe cada lado del clip por el peso de la luminaria multiplicado por un coeficiente de seguridad de 3. Los puntos de anclaje elegidos para esta función son la parte central de la pieza que es por donde se atornilla al techo y los laterales de la pieza también se simulan anclados porque una vez clipada la pieza en la luminaria no puede abrirse hacia los lados.

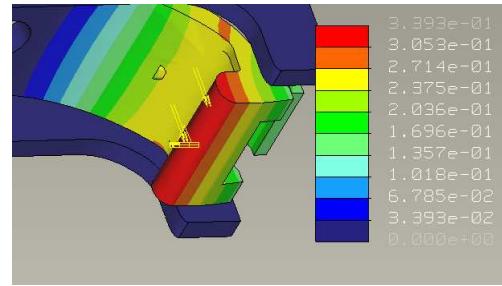


**Figura 6.87** Condiciones contorno función colgado horizontal.

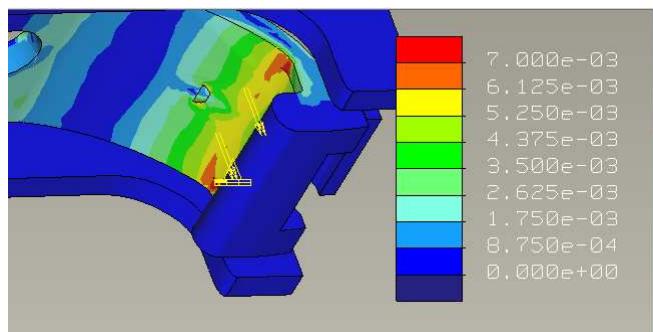
A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos en el caso lineal de la pieza anclaje ancho en la función del colgado horizontal de la luminaria:



**Figura 6.88** Tensiones (MPa)



**Figura 6.89** Desplazamientos (mm)



**Figura 6.90** Deformaciones unitarias (N/D)

La siguiente tabla nos muestra los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado horizontal del programa Pro-engineer:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	7.5	3000	18	0.33	0.51	<b>6.4</b>
Húmeda	2.5	3000	6	0.11	0.17	<b>19.1</b>
Seca	7.5	4900	18	0.2	0.31	<b>8.6</b>
Seca	2.5	4900	6	0.06	0.1	<b>25.8</b>

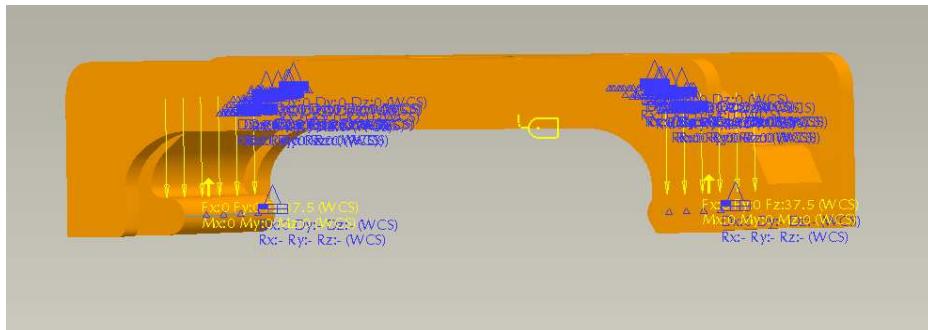
Los cálculos realizados en el programa informático corresponden a la pieza en estado húmedo con 7,5 Kg de peso, el resto de resultados



se han conseguido de forma teórica por ser un comportamiento lineal extrapolando.

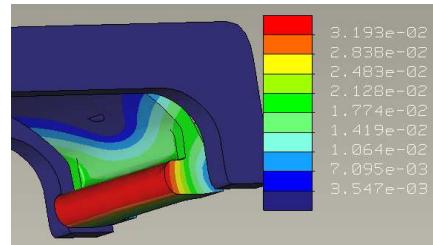
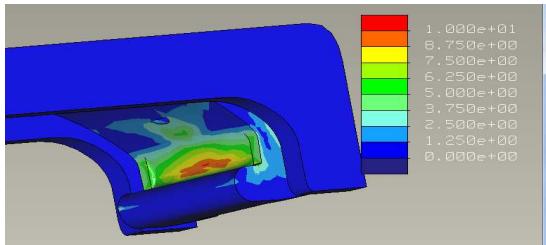
#### 6.5.4 - FUNCION COLGADO HORIZONTAL POR TRIANGULO

Esta función determina el caso en el que la luminaria está colgada por un triangulo en el techo. Para esta función se ha propuesto la misma fuerza vertical que en la función de colgado horizontal sin triangulo. La fuerza tiene un valor de 12,5 Nw, que son equivalentes a los 1,25 Kg que recibe cada lado del clip por el peso de la luminaria. Los puntos de anclaje elegidos para esta función son los agujeros preparados para el triangulo metálico y los laterales de la pieza también se simulan anclados porque una vez clipada la pieza en la luminaria no puede abrirse hacia los lados.



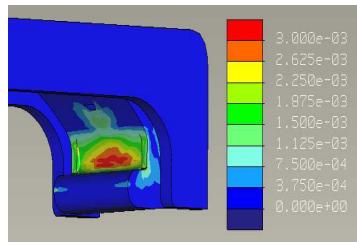
**Figura 6.94** Condiciones contorno función colgado horizontal por triangulo.

A continuación se muestran en las gráficas los resultados obtenidos en el caso lineal del anclaje ancho en la función del colgado horizontal por triangulo de la luminaria:



**Figura 6.95** Tensiones (MPa)

**Figura 6.96** Desplazamientos (mm)



**Figura 6.97** Deformaciones unitarias (N/D)

La siguiente tabla detalla los máximos obtenidos en los resultados finales de la simulación del colgado horizontal por triangulo del programa Pro-engineer:

Pieza	F (Kg)	E (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (%)	C.S
Húmeda	7.5	3000	9	0.06	0.4	<b>12.8</b>
Húmeda	2.5	3000	3	0.02	0.13	<b>38.3</b>
Seca	7.5	4900	9	0.03	0.24	<b>17.2</b>
Seca	2.5	4900	3	0.01	0.08	<b>51.6</b>



## 6.6 – TABLA COMPARATIVA RESULTADOS TEÓRICOS FINALES:

Pieza	Programa informático	Clipado	$\Delta$ Colgado horizontal	$\Delta$ Colgado vertical	$\Delta$ Colgado horizontal por triangulo
<b>Clip metal</b>	Pro-engineer	5,3	0,006	0,75	0,006
<b>Prototipo estrecho</b>	Pro-engineer	2,9	0,16	1,12	---
<b>Anclaje estrecho</b>	Pro-engineer	4,17	0,1	Opción 1 0,25	0,01
				Opción 2 0,02	
<b>Prototipo ancho</b>	Pro-engineer	6,7	0,12	0,85	---
<b>Anclaje ancho</b>	Pro-engineer	5,9	0,11	Opción 1 0,2	0,02
				Opción 2 0,02	
<b>Prototipo estrecho</b>	Solid Works	4	0,1	0,81	---
<b>Anclaje ancho</b>	Solid Works	9,3	0,07	Opción 1 0,1	0,01
				Opción 2 0,02	



PROYECTO FINAL DE CARRERA:  
“Análisis teórico-experimental de una pieza rediseñada en plástico”



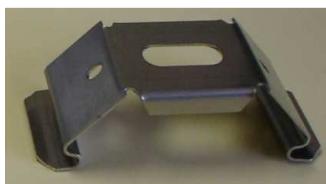
Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

## 7-. ANÁLISIS EXPERIMENTALES



Se han realizado diferentes análisis de las piezas objeto del estudio para poder comparar con los resultados teóricos y comprobar con ensayos reales que los clips cumplen con las funciones especificadas en este proyecto. Estos ensayos nos determinan los desplazamientos reales que sufre el clip con una solicitud de cargas en él. También se han hecho pruebas de atornillado con un par de apriete superior para comprobar que la pieza no sufre excesivas deformaciones que impidan el correcto funcionamiento de la misma.

Las piezas analizadas son el anclaje estrecho, que es nuestra pieza final, la pieza actual metálica utilizada por el fabricante y el primer prototipo rediseñado. Solo se han realizado pruebas del prototipo y anclaje final estrecho, por falta de suministro del anclaje ancho no se ha realizado ensayos sobre esta pieza, con lo cual no podremos comparar los resultados con los obtenidos de forma teórica.



**Figura 7.1** Clip metal. **Figura 7.2** Clip prototipo. **Figura 7.3** Clip final.



Los análisis realizados son pruebas instantáneas, atornillando las piezas y poniéndole pesos para comprobar sus desplazamientos. Una vez obtenidos los resultados pasaremos a comparar los resultados de la pieza actual con la pieza propuesta en el rediseño para comprobar la viabilidad del cambio de material en el rediseño. También se realizó un análisis de las piezas con el paso del tiempo, para ello tuvimos tres meses las piezas con solicitud de cargas y fuimos tomando medidas de los desplazamientos subidos.



**Figura 7.5** Pesas utilizadas en las mediciones de los análisis.

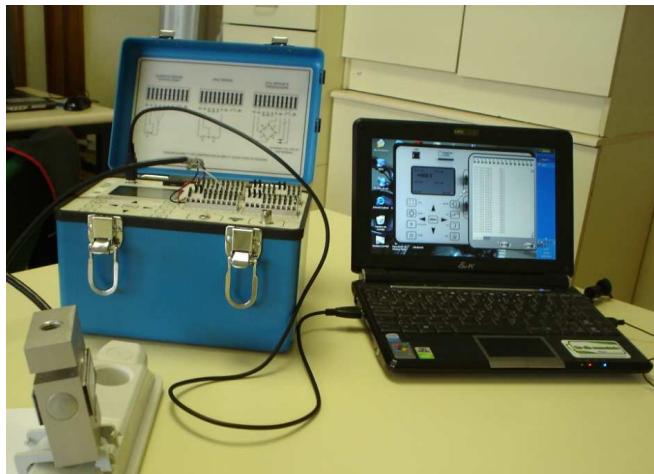


## 7.1 – ANÁLISIS INSTANTÁNEOS:

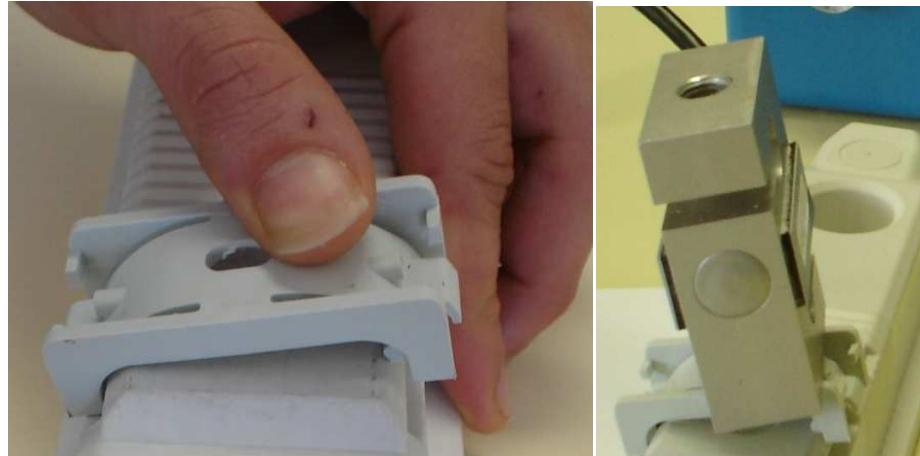
Se han realizado ensayos de cada función mecánica solicitada a los clipes de anclaje. En el caso del colgado horizontal por triangulo no se ha realizado ensayos porque la función de colgado horizontal sin triangulo es más restrictiva y por tanto si el clip soporta las deformaciones en esa función también será viable en el colgado con triangulo. En el anclaje estrecho se han realizado pruebas para los diferentes estados en los que se puede encontrar la pieza: húmeda, seca, fría y caliente. Para la toma de medidas se ha utilizado un calibre digital.

### 7.1.1 – FUNCIÓN CLIPADO:

En este ensayo mediremos la fuerza necesaria para realizar la función de clipado mediante una célula de carga.



**Figura 7.1** Equipo de medida.



**Figura 7.2** Ejemplo de toma de medida.

Los resultados obtenidos con los diferentes clipes de anclaje en condiciones normales, es decir las piezas de plástico se consideran en estado húmedo, son los siguientes:

Pieza	F (Kg)
Clip metal estrecho	<b>4.8</b>
Prototipo estrecho	<b>2</b>
Anclaje final estrecho (material china)	<b>3</b>
Anclaje final estrecho (material Zalux)	<b>1.8</b>

Como se puede comprobar en la tabla de resultados se han realizado pruebas para dos materiales distintos para el anclaje final estrecho, siendo menor la fuerza necesaria para la función del clipado de la pieza en los dos casos que la pieza actual metálica.

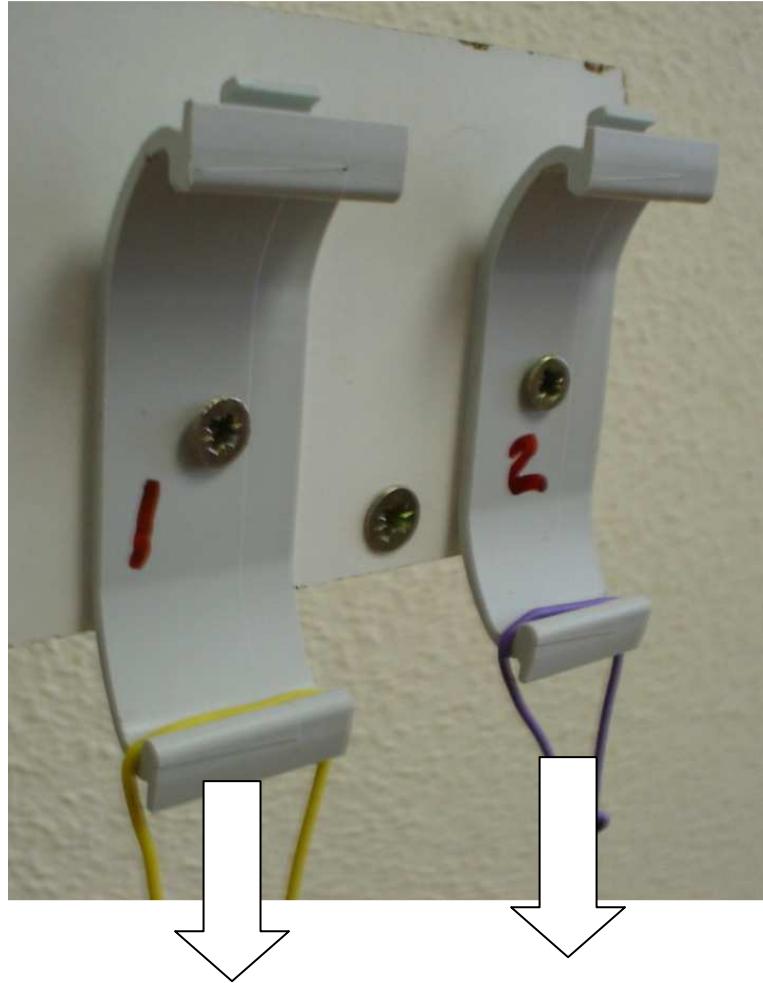


Como se ha comentado anteriormente también se realizaron pruebas para los diferentes estados en los que se puede encontrar nuestra pieza, estos análisis sólo se realizaron para el anclaje final estrecho puesto que es nuestra propuesta de diseño.

Pieza	F (Kg)
Húmeda	<b>1.8</b>
Fría	<b>5.8</b>
Caliente	<b>1.3</b>

### **7.1.2 – FUNCIÓN COLGADO VERTICAL:**

Este ensayo se refiere al colgado de las luminarias sobre una pared o superficie perpendicular al suelo. En esta posición mediremos, mediante un calibre digital, los desplazamientos sufridos por el clip al realizar la función solicitada. La carga de trabajo estará entorno a los **2,5 Kg.**



**Figura 7.3** Ensayo colgado vertical.

Para el colgado vertical del anclaje final se ha realizado dos ensayos diferentes, simulando en uno el colgado real sufrido por la pieza y en otro poniendo solamente el peso en la parte central de la pieza, sin ejercer fuerza alguna en los refuerzos laterales de la pieza.

A continuación se muestra los resultados obtenidos en los ensayos realizados para la función de colgado vertical:



Pieza	Medida inicial	Medida final	Deformación
Clip metal	<b>38,5 mm</b>	<b>39,4 mm.</b>	<b>0.9 mm.</b>
Prototipo estrecho	<b>37,84 mm</b>	<b>39,14 mm</b>	<b>1.4 mm</b>
Anclaje estrecho (colgado real)	<b>44.86 mm</b>	<b>44.89 mm.</b>	<b>0.03 mm.</b>
Anclaje estrecho (colgado sobre clip)	<b>36,12 mm</b>	<b>37,46 mm</b>	<b>1,3 mm</b>

### 7.1.3 – FUNCIÓN COLGADO HORIZONTAL:

Este ensayo se refiere al colgado de las luminarias sobre el techo o una superficie paralela al suelo. En esta posición mediremos, mediante un calibre digital, los desplazamientos sufridos por el clip al realizar la función solicitada. La carga de trabajo estará entorno a los **2,5 Kg.**



**Figura 7.4** Ensayo colgado horizontal.



A continuación se muestra los resultados obtenidos en los ensayos realizados para la función de colgado horizontal:

Pieza	Medida inicial	Medida final	Deformación
Clip metal	<b>15,25 mm</b>	<b>15,44 mm.</b>	<b>0,19 mm.</b>
Prototipo estrecho	<b>17,28 mm</b>	<b>17,49 mm</b>	<b>0,21 mm</b>
Anclaje estrecho (material Zalux)	<b>17,15 mm.</b>	<b>17,23 mm.</b>	<b>0,08 mm</b>
Anclaje estrecho (material china)	<b>17,21 mm.</b>	<b>17,26 mm.</b>	<b>0,05 mm</b>

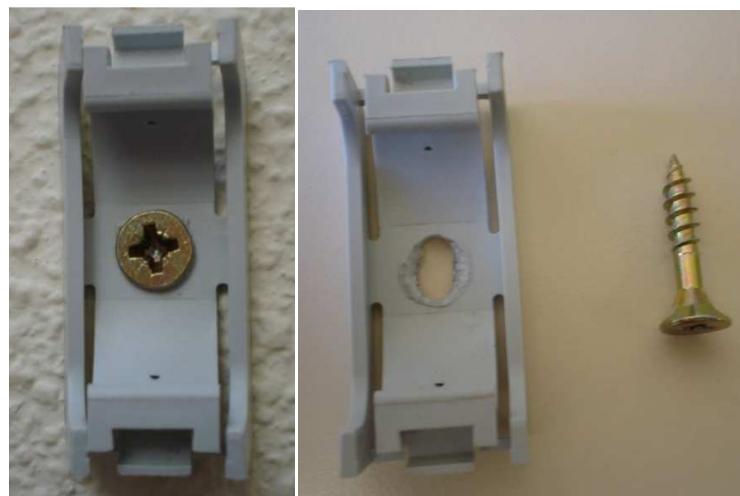
Para los dos materiales utilizados en la fabricación del anclaje estrecho podemos comprobar cómo la deformación es mucho menor que la pieza utilizada actualmente en metal.



#### **7.1.4 – FUNCIÓN ATORNILLADO:**



**Figura 7.5** Tornillo de cabeza cónica fina.



**Figura 7.6** Tornillo de cabeza cónica gruesa.

Se han realizado pruebas de atornillado con 2 tornillos de métrica diferente para comprobar que la parte de sujeción de la pieza de anclaje resiste el par de apriete del tornillo y las deformaciones sufridas por la pieza no son excesivamente grandes.



## 7.2 – ANÁLISIS DE EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO:

Se han realizado un análisis de la evolución de las deformaciones sufridas por el clip de anclaje en las funciones de colgado vertical y colgado horizontal. Se fabricó una tabla de sustentación con unas escuadras para poder atornillar los clipes en ella y tener durante tres meses una solicitud de cargas con las pesas anteriormente mencionadas en los análisis instantáneos. Se procedió a la medición de las deformaciones, primero día a día y luego semanalmente hasta llegar a los 100 días (aprox. 3 meses). Una vez obtenidos los resultados se procederá al cálculo con las curvas de creep de la deformación teórica que debería sufrir y se comparará con la verdaderamente obtenida en los ensayos reales.



**Figura 7.7** Ensayo de la evolución de la deformación en el tiempo.



A continuación se muestra la tabla de resultados obtenida de las medidas tomadas durante los tres meses por medio de un calibre digital.

pieza	$\Delta$ (1 día)	$\Delta$ (40 días)	$\Delta$ (100 días)
Proto estrecho horizontal	0,32	0,57	0,59
Proto estrecho vertical 1	2,34	3,46	3,48
Proto estrecho vertical 2	2,17	3,13	3,16
Final estrecho horizontal	0,03	0,15	0,21
Final estrecho vertical 1 (patas)	0,02	0,03	0,036
Final estrecho vertical 2 (patas)	0,03	0,042	0,044
Final estrecho vertical 1 (central)	0,55	0,67	0,69
Final estrecho vertical 2 (central)	0,48	0,60	0,65
Proto ancho horizontal	0,11	0,22	0,28
Proto ancho vertical 1	1,54	2,46	2,46
Proto ancho vertical 2	1,66	2,5	2,53
Final china estrecho vertical 1 (patas)	0,01	0,03	0,03
Final china estrecho vertical 1 (central)	0,3	0,46	0,46



### 7.2.1 - EVOLUCIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO EN FUNCION DEL COLGADO VERTICAL:

El colgado ha sido simulado como el colgado real, es decir, colgando la carga sobre el clip y sobre los soportes laterales.

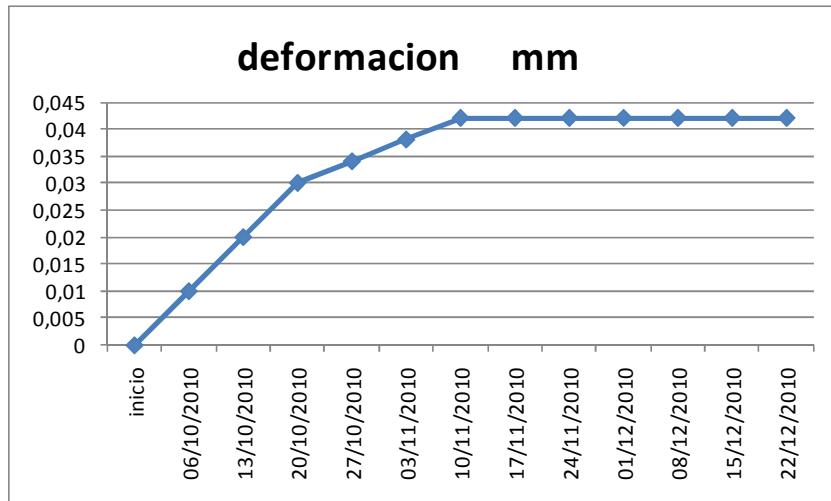


**Figura 7.8** Ensayo del colgado vertical real del anclaje estrecho.

La tabla de los resultados obtenidos se muestra a continuación:

TIEMPO	Medida inicial	Medida final	Deformación
100h (4días)	<b>44.86 mm</b>	<b>44.89 mm.</b>	<b>0.03 mm.</b>
1000h (41días)	<b>44.86 mm</b>	<b>44.902mm.</b>	<b>0.042 mm.</b>
2400 h (100 días)	<b>44.86 mm</b>	<b>44.907 mm.</b>	<b>0.044 mm.</b>

La siguiente gráfica muestra la evolución a lo largo del tiempo de las deformaciones del anclaje rediseñado en plástico, como se puede comprobar la gráfica corresponde con la evolución de las deformaciones de los materiales plásticos.



Vamos a aplicar las curvas de creep a los resultados del colgado vertical con una duración de tres meses. Las tensiones que se alcanzan para el ensayo de la función de colgado vertical a corto tiempo están próximas a los 5MPa, por lo que se puede utilizar la siguiente tabla para el cálculo de creep a tiempos largos.

Para 5 Mpa	
1 h	0,25%
10 h	0,27%
100 h	0,28%
1000 h	0,30%
10000 h	0,34%

En 1000 h (41 días aprox.)  $\epsilon$  pasa de 0.25 a 0.30, se multiplica por 1.2

En 10000 h (416 días aprox.)  $\epsilon$  pasa de 0.25 a 0.34, se multiplica por 1.36

A partir de esta tabla se deduce que la deformación de la pieza aumentará como máximo un 20% respecto a la inicial en 40 días y un 36 % en 416 días no alcanzando en este tiempo una flecha mayor de 0.027mm.



## RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS MEDIANTE CARGA DE 2.5Kg. MEDIDO CON CALIBRE DIGITAL.

<b>Desplazamiento medido</b>	<b>0.03 mm.</b>
<b>Desplazamiento medido a los 40 días</b>	<b>0.042 mm.</b>
<b>Desplazamiento medido a los 100 días</b>	<b>0.044 mm.</b>
<b>Desplazamiento calculado para 410 días</b>	<b>0.057 mm.</b>

### 7.2.2 - EVOLUCIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO EN FUNCION

#### DEL COLGADO HORIZONTAL:

El colgado ha sido simulado como el colgado real, es decir, colgando la carga sobre el clip y sobre los soportes laterales.



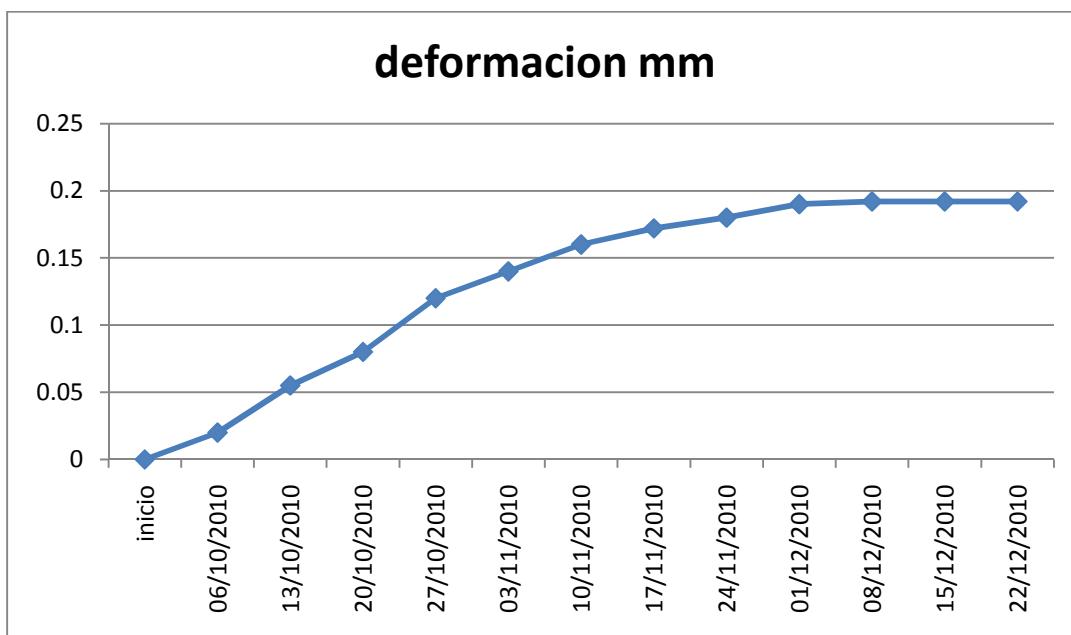
**Figura 7.9** Ensayo del colgado horizontal real del anclaje estrecho.



La tabla de los resultados obtenidos se muestra a continuación:

TIEMPO	Medida inicial	Medida final	Deformación
100h (4días)	<b>17.15 mm.</b>	<b>17.23 mm.</b>	<b>0.08 mm.</b>
1000h (41días)	<b>17.15 mm.</b>	<b>17.32 mm.</b>	<b>0.172mm.</b>
2400 h (100 días)	<b>17.15 mm.</b>	<b>17.36 mm.</b>	<b>0.2 mm.</b>

La siguiente gráfica muestra la evolución a lo largo del tiempo de las deformaciones del anclaje rediseñado en plástico, como se puede comprobar la gráfica corresponde con la evolución de las deformaciones de los materiales plásticos.





Vamos a aplicar las curvas de creep a los resultados del colgado horizontal con una duración de tres meses. Las tensiones que se alcanzan para el ensayo de la función de colgado horizontal a corto tiempo están entre los 5MPa y los 10MPa, por lo que se puede utilizar la siguiente tabla para el cálculo de creep a tiempos largos.

Para 10 Mpa	
1 h	0,35%
10 h	0,42%
100 h	0,50%
1000 h	0,65%
10000 h	0,78%

Para 5 Mpa	
1 h	0,25%
10 h	0,27%
100 h	0,28%
1000 h	0,30%
10000 h	0,34%

En 1000 h (41 días aprox.)  $\epsilon$  pasa de 0.30 a 0.47 se multiplica por 1.5

En 10000 h (416 días aprox.)  $\epsilon$  pasa de 0.3 a 0.56, se multiplica por 1.86

A partir de esta tabla se deduce que la deformación de la pieza aumentará como máximo un 50% respecto a la inicial en 40 días y un 86 % en 416 días no alcanzando en este tiempo una flecha mayor de 0.186mm

#### RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS MEDIANTE CARGA DE 2.5Kg. MEDIDO CON CALIBRE DIGITAL.

**Desplazamiento medido**                   **0.03 mm.**

**Desplazamiento medido a los 40 días**                   **0.15 mm.**

**Desplazamiento medido a los 100 días**                   **0.2 mm.**

**Desplazamiento calculado para 410 días**                   **0.19 mm.**



En los resultados se comprueba que la deformación a los 100 días supera en un 5,2 % la calculada teóricamente para 410 días aproximadamente. Puesto que la deformación está estabilizada no aumentará en demasiado el porcentaje de deformación, por lo tanto podemos afirmar que la pieza cumple con las especificaciones.



PROYECTO FINAL DE CARRERA:  
“Análisis teórico-experimental de una pieza rediseñada en plástico”



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

## 8.- CONCLUSIONES



- El anclaje fabricado en condiciones adecuadas con el material planteado no fallará durante el montaje tanto con el material húmedo como seco teniendo un menor coeficiente de seguridad en este segundo caso. Hay que considerar que el coeficiente de seguridad que se obtiene es conservador ya que la pieza se deforma durante el montaje y la deformación real del clip será menor que los 3.2 mm que se han considerado. También se comporta de forma adecuada en condiciones de clip frío y caliente durante el montaje.
- Los resultados obtenidos con la pieza prototipo cumplen para la opción de clipado y para la opción de colgado horizontal, pero para la opción de colgado vertical sufre una deformación elevada y no cumple las especificaciones marcadas, lo que justifica la introducción en el segundo rediseño de los soportes laterales.
- En la opción de colgado vertical el elemento que trabaja como clip sufre una deformación de 0.3 mm hasta que la carcasa apoya en los brazos laterales que son los que terminan teniendo la responsabilidad de la carga.
- En la opción de colgado vertical las tensiones no superan los 5Mpa con 2.5 Kg de carga, los desplazamientos son muy bajos (0.02 mm teóricos, 0.03 mm medidos de forma experimental).



- En la función de colgado vertical la deformación sufrida por nuestra pieza rediseñada es 30 veces menor que la pieza metálica a tiempos cortos.
- En la opción de colgado vertical a largo plazo (100 días con los datos que se dispone del material) con 2.5 Kg de carga, los desplazamientos son muy bajos y se corresponden con los calculados teóricamente.
- En la opción de colgado vertical a largo plazo, con 2.5 Kg de carga, los desplazamientos a 40 días son muy bajos y se corresponden con los resultados obtenidos experimentalmente.
- En la opción de colgado horizontal el clip no tiende a abrirse debido a la acción de la carga sino que tiende a quedarse más agarrada a ella.
- En la opción de colgado horizontal las tensiones no superan los 7 Mpa con 2.5 Kg de carga repartidos entre los dos lados y los desplazamientos son bajos (0.1 mm teóricos, 0.08 mm medidos de forma experimental).
- En la opción de colgado horizontal por triangulo las tensiones no superan los 4 Mpa con 2.5 Kg de carga repartidos entre los dos lados y los desplazamientos son bajos (0.01 mm teóricos).



- En la función de colgado horizontal la deformación sufrida por nuestra pieza rediseñada es 2.3 veces menor que la pieza metálica a tiempos cortos.
- En la opción de colgado horizontal a largo plazo (100 días con los datos que se dispone del material) con 2.5 Kg de carga los desplazamientos son bajos.
- En la opción de colgado horizontal a largo plazo, con 2.5 Kg de carga, los desplazamientos a 40 días son bajos y se corresponden con los resultados obtenidos experimentalmente.
- En los ensayos realizados para la función de atornillado se ha comprobado que la pieza no rompe al ser atornillada a mano y que aplicando de forma manual pares de apriete sucesivamente mayores la pieza sufre deformaciones menores que no llegan a romper la pieza.
- En el anclaje ancho se obtienen resultados semejantes a los determinados para el anclaje estrecho. Los coeficientes de seguridad son incluso más altos para la función de clipado que en el anclaje estrecho.
- El clip rediseñado en plástico cumple todas las especificaciones marcadas por el fabricante y en todas las funciones planteadas en el proyecto. Para el colgado horizontal las deformaciones son un 20% menores que las calculadas teóricamente, en el colgado vertical son un 10 %



mayores. Puesto que los resultados de los ensayos experimentales obtenidos para las funciones de colgado vertical y horizontal se corresponden con los calculados teóricamente, tanto a corto plazo como a largo plazo, se pueden extrapolar los resultados para plazos más largos y concluir que el comportamiento del anclaje real en estos plazos será correcto.



PROYECTO FINAL DE CARRERA:  
“Análisis teórico-experimental de una pieza rediseñada en plástico”



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

## **9.- LUGAR, FECHA Y FIRMA DEL RESPONSABLE DEL PROYECTO**



PROYECTO FINAL DE CARRERA:  
“Análisis teórico-experimental de una pieza rediseñada en plástico”



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

Firma el ingeniero técnico:

Cristian Gómez García.....

Zaragoza a 15 de Febrero del 2011