

## ANEXO E. Cálculo de la curvatura de la losa

### E.1. Algoritmo de cálculo de la curvatura

Para calcular el incremento de curvatura de la losa a través de las medidas de los captadores de desplazamiento se ha ideado un algoritmo basado en cálculos geométricos.

El objetivo del diseño de este algoritmo es obtener una herramienta de fácil aplicación sobre los múltiples datos obtenidos en los ensayos, permitiendo hallar la curvatura de la losa para cada lectura de los captadores con rapidez y comodidad. Para llevar a cabo esta aplicación se utilizará una hoja de cálculo; en este caso se ha optado por hacer uso de Microsoft Excel por su manejo sencillo y gran disponibilidad.

#### E.1.1. Descripción del algoritmo

El algoritmo empleado para calcular la curvatura a partir de los desplazamientos registrados y relacionarla luego con su correspondiente momento flector consta de los siguientes pasos:

- 1) Se asignan los valores de las mediciones obtenidas en tres captadores ( $d_A$ ,  $d_B$  y  $d_C$ ) a las coordenadas en el eje Y de los tres puntos de contacto de los captadores con la losa: A, B y C. Como aquéllos solamente obtienen medidas en esta dirección, asignamos a los tres puntos A, B y C una posición constante en el eje X, que consideramos invariable aunque, como ya se comentará al hablar de las posibles causas de error en estas medidas, esto sólo es cierto en un caso ideal.
- 2) Se calculan las ecuaciones de las rectas que unen los puntos A y B y los puntos B y C, además del punto medio de cada recta:

$$\text{Punto medio recta AB: } (X_{M_{AB}}, Y_{M_{AB}}) = \left( \frac{X_A + X_B}{2}, \frac{Y_A + Y_B}{2} \right)$$

$$\text{Punto medio recta BC: } (X_{M_{BC}}, Y_{M_{BC}}) = \left( \frac{X_B + X_C}{2}, \frac{Y_B + Y_C}{2} \right)$$



$$\text{Ecuación recta AB: } (X_{M_{AB}}, Y_{M_{AB}}) + k(X_B - X_A, Y_B - Y_A)$$

$$\text{Ecuación recta BC: } (X_{M_{BC}}, Y_{M_{BC}}) + l(X_C - X_B, Y_C - Y_B)$$

- 3) A continuación se buscan las ecuaciones de las rectas perpendiculares a cada una de las dos rectas anteriores y que pasen por el punto medio encontrado:

$$\text{Ecuación recta perpendicular a recta AB: } (X_{M_{AB}}, Y_{M_{AB}}) + k(Y_B - Y_A, X_A - X_B)$$

$$\text{Ecuación recta perpendicular a recta BC: } (X_{M_{BC}}, Y_{M_{BC}}) + k(Y_C - Y_B, X_B - X_C)$$

- 4) Por último se averigua el punto de intersección de las dos rectas perpendiculares a las primeras y se calcula la distancia de este punto a cualquiera de los puntos iniciales A, B o C, pues debe ser la misma para todos. De esta forma se obtiene el radio de la circunferencia que une los puntos A, B y C ( $\Delta R$ ), y haciendo su inversa ( $1/\Delta R$ ), la curvatura de la losa:

Punto intersección de las rectas perpendiculares a las rectas AB y BC:  $(X_0, Y_0)$

Radio de curvatura = Distancia del punto  $(X_0, Y_0)$  a los puntos originales:

$$\Delta R = \sqrt{(X_0 - X_A)^2 + (Y_0 - Y_A)^2}$$

$$\text{Curvatura de la losa mixta: } \frac{1}{\Delta R}$$

La figura E.1 muestra los elementos geométricos (rectas y puntos) que intervienen en los distintos pasos descritos.

Cabe señalar que este algoritmo se aplicará para los dos juegos de tres captadores de desplazamiento colocados en paralelo en la losa ( $d_3$ - $d_5$ - $d_7$  y  $d_4$ - $d_6$ - $d_8$ ) de manera que teóricamente deberían obtenerse resultados similares con unos y otros. Además, en caso de error en la medida de algún captador se dispondrá del otro juego para hacer el cálculo.



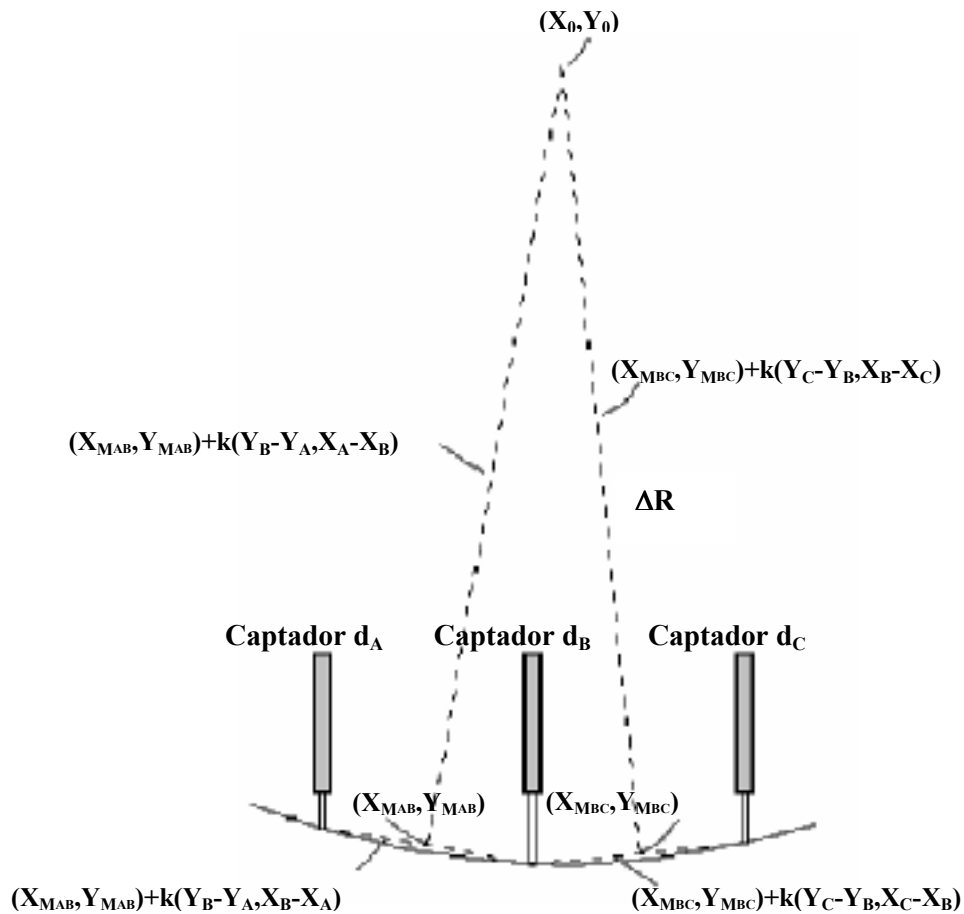


Figura E.1 Elementos geométricos que intervienen en el algoritmo

Hay que tener en cuenta que para realizar este cálculo solamente es relevante el desplazamiento vertical del punto en contacto con el captador (que no es el mismo punto material de la losa en cada medida), ya que la posición horizontal del extremo de los captadores es teóricamente fija.

### E.1.2. Comprobación

Se procede a comprobar el funcionamiento del algoritmo mediante el cálculo de un ejemplo. Para ello, se cogerá tres puntos pertenecientes a una misma circunferencia y se comprobará el valor de su radio de dos maneras diferentes:



- Manualmente, a través del algoritmo pensado.
- Mediante la hoja de cálculo de Microsoft Excel que se ha implementado especialmente para dicha función.

Ambos resultados tienen que coincidir (o ser muy parecidos) para poder considerar correcto el algoritmo.

Así, se coge tres puntos de una circunferencia de radio 30 mm y se procede a realizar la comprobación:

1)

$$\begin{cases} X_A = -13'36 \\ Y_A = -26'49 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_B = 0 \\ Y_B = -30 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_C = 10'755 \\ Y_C = -28'27 \end{cases}$$

2)

$$(X_{M_{AB}}, Y_{M_{AB}}) = \left( \frac{X_A + X_B}{2}, \frac{Y_A + Y_B}{2} \right) = \left( \frac{-13'36 + 0}{2}, \frac{-26'49 - 30}{2} \right) = (-6'68, -28'24)$$

$$(X_{M_{BC}}, Y_{M_{BC}}) = \left( \frac{X_B + X_C}{2}, \frac{Y_B + Y_C}{2} \right) = \left( \frac{0 + 10'755}{2}, \frac{-30 - 28'27}{2} \right) = (5'37, -29'13)$$

$$\begin{aligned} (X_{M_{AB}}, Y_{M_{AB}}) + k(X_B - X_A, Y_B - Y_A) &= (-6'68, -28'24) + k(0 + 13'36, -30 + 26'49) = \\ &= (-6'68, -28'24) + k(13'36, -3'51) \end{aligned}$$

$$(X_{M_{BC}}, Y_{M_{BC}}) + k(Y_C - Y_B, X_B - X_C) = (5'37, -29'13) + l(10'75 - 0, -28'27 + 30) =$$



$$= (5'37, -29'13) + 1(10'75, 1'73)$$

3)

$$(-6'68, -28'24) + k(3'51, 13'36)$$

$$(5'37, -29'13) + 1(-1'73, 10'75)$$

4)

$$\begin{cases} -6'68 + 3'51k = 5'37 - 1'731 \\ -28'24 + 13'36k = -29'13 + 10'751 \end{cases}$$

$$k = \frac{12'05 - 1'731}{3'51} = 3'43 - 0'491$$

$$0'89 + 45'89 - 6'581 = 10'751$$

$$\begin{cases} 1 = 269 \\ k = 2'10 \end{cases}$$

$$(X_0, Y_0) = (-6'68 + 3'51k, -28'24 + 13'36k) = (-6'68 + 3'51 \cdot 2'10, -28'24 + 13'36 \cdot 2'10) = (0'71, -0'12)$$

$$\Delta R = \sqrt{(X_0 - X_A)^2 + (Y_0 - Y_A)^2} = \sqrt{(0'71 - 13'36)^2 + (-0'12 - 26'49)^2} = 29'5 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{\Delta R} = \frac{1}{29'5} = 0'0338 \text{ mm}^{-1}$$

Mientras que mediante la hoja de cálculo de Microsoft Excel se llega al siguiente resultado:

$d_3$	$d_5$	$d_7$
-26,49	-30,00	-28,27

$x_3, x_4$	$x_5, x_6$	$x_7, x_8$
-13,360	0	10,755



$x_m=(x_3+x_5)/2$	$y_m=(y_3+y_5)/2$	$x_m'=(x_5+x_7)/2$	$y_m'=(y_5+y_7)/2$
-6,680	-28,2450	5,378	-29,1350

11,914338680	-5,659	<b>k</b>	<b>l</b>
		-2,105368258	-2,698067869

$x_o$	$y_o$	$x_o$	$y_o$
0,709843	-0,117280	0,709843	-0,117280

<b><math>\Delta R</math> (m)</b>	<b><math>1/\Delta R</math></b>
0,029891150	3,34547E+01

De esta manera y a la vista de los resultados se comprueba que el algoritmo es correcto, ya que las soluciones obtenidas mediante cada método son muy parecidas y próximas a la real:

$$\left(\frac{1}{\Delta R}\right)_{\text{Algoritmo}} \approx \left(\frac{1}{\Delta R}\right)_{\text{Excel}}$$

### E.1.3. Formulación de la hoja de cálculo

A continuación se presenta un listado con las fórmulas utilizadas en el algoritmo de cálculo de la curvatura, realizado con Microsoft Excel. Para facilitar su seguimiento, se divide en el mismo número de pasos de que constaba la descripción realizada anteriormente; como se podrá apreciar, los pasos 3) y 4) quedan integrados en uno solo, ya que el 3) era conceptual y no requería cálculo alguno.

A modo de ejemplo, se acompaña las fórmulas con los resultados que se van obteniendo a medida que se aplica el cálculo a una lectura de una terna de captadores; en concreto, se utilizan lecturas obtenidas en el ensayo de la losa N°2 con chapa RD 70 y  $L_s=550$  mm.



Así, se parte de los datos proporcionados por los captadores  $d_3$ ,  $d_5$  y  $d_7$ ; estas medidas vienen dadas en [mm]:

1)

Este paso es común para los dos juegos de captadores, ya que en él se recoge las lecturas obtenidas en los ensayos, que servirán como punto de partida del cálculo. Para este ejemplo los valores de la coordenada  $x$  se toman de -250 mm para las medidas tomadas por los captadores  $d_3$  y  $d_4$ , ya que, como se explicó anteriormente (ver figura 7.3) están situados a dicha distancia del eje transversal de la chapa (donde el valor de  $x$  es 0); para  $d_7$  y  $d_8$  se toma una  $x$  constante de 250 mm.

A	B	C	D	E	F	G	H
$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$
0,007	0,005	-0,009	-0,008	-0,003	-0,022	-0,017	-0,019

J	K	L
$x_3, x_4$	$x_5, x_6$	$x_7, x_8$
-250	0	250

Como ya se ha comentado, se procede a calcular la curvatura de la losa a partir de los captadores  $d_3$ ,  $d_5$  y  $d_7$ :

2)

N	O	P	Q
$x_m = (x_3 + x_5)/2$	$y_m = (y_3 + y_5)/2$	$x_m' = (x_5 + x_7)/2$	$y_m' = (y_5 + y_7)/2$
-125,000	-0,0060	125,000	-0,0100

$$N = x_m = \text{PRODUCTO (SUMA (J ; K) ; 0,5)}$$

$$O = y_m = \text{PRODUCTO (SUMA (C ; E) ; 0,5)}$$

$$P = x_m' = \text{PRODUCTO (SUMA (K ; L) ; 0,5)}$$



$$Q = y_m = \text{PRODUCTO} (\text{SUMA} (E ; G) ; 0,5)$$

3) y 4)

<b>S</b>	<b>T</b>	<b>U</b>	<b>W</b>
250,000000224	0,020	<b>k</b>	<b>l</b>
		12500,000011200	12499,999995200

$$S = \text{SI} (C = E ; N-P ; \text{SUMA} (\text{PRODUCTO} ((O-Q) * (1/(K-L)) ; G-E) ; P ; -N))$$

$$T = \text{SI} (C = E ; G-E ; (E-C) * (1-((G-E) * (J-K)) * (1/((K-L) * (E-C))))))$$

$$U = k = \text{SI} (\text{ABS}(T) < 0,0000000001 ; " " ; \text{SI} (C = E ; (Q+(S*(K-L)/T)-O) / (J-K) ; S * (1/T)))$$

$$W = l = \text{SI} (U = " " ; " " ; \text{PRODUCTO} (\text{SUMA} (\text{PRODUCTO} (\text{SUMA} (J ; \text{PRODUCTO} (K ; -1)) ; U) ; O ; \text{PRODUCTO} (Q ; -1)) ; \text{MINVERSA} (\text{SUMA} (K ; \text{PRODUCTO} (L ; -1))))))$$

<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>AB</b>	<b>AC</b>
<b>x<sub>o</sub></b>	<b>y<sub>o</sub></b>	<b>x<sub>o</sub></b>	<b>y<sub>o</sub></b>
-50,000000	-3125000,008800	-50,000000	-3125000,008800

$$Y = x_o = \text{SI} (W = " " ; " " ; \text{SUMA} (N ; \text{PRODUCTO} (U ; \text{SUMA} (E ; \text{PRODUCTO} (C ; -1))))))$$

$$Z = y_o = \text{SI} (Y = " " ; " " ; \text{SUMA} (O ; \text{PRODUCTO} (U ; \text{SUMA} (J ; \text{PRODUCTO} (K ; -1))))))$$

$$AB = x_o = \text{SI} (Z = " " ; " " ; \text{SUMA} (P ; \text{PRODUCTO} (W ; \text{SUMA} (G ; \text{PRODUCTO} (E ; -1))))))$$

$$AC = y_o = \text{SI} (AB = " " ; " " ; \text{SUMA} (Q ; \text{PRODUCTO} (W ; \text{SUMA} (K ; \text{PRODUCTO} (L ; -1))))))$$





Se observa que se ha encontrado en dos ocasiones el punto de intersección de las rectas perpendiculares  $(x_0, y_0)$ , esto se hace como simple comprobación evaluando los valores de  $k$  y  $l$  en las ecuaciones respectivas.

AE	AG
$\Delta R$ (m)	$1/\Delta R$
3125,00	3,20000E-04

$AE = \Delta R = SI (ABS (T) < 0,0000000001 ; "infinito" ; PRODUCTO (RAIZ (SUMA (POTENCIA (SUMA (Y ; PRODUCTO (J ; -1)) ; 2) ; POTENCIA (SUMA (Z ; PRODUCTO (C ; -1)) ; 2))) ; 0,001))$

$AG = 1/\Delta R = SI (AE = "infinito" ; 0 ; MINVERSA (AE))$

De igual manera, para los captadores d4, d6 y d8 se utilizan las mismas fórmulas pero referidas a las celdas pertinentes, por lo que no se profundizará más en su descripción.

Las unidades de  $\Delta R$  son [m], por lo que la curvatura  $1/\Delta R$  vendrá dada en  $[m^{-1}]$ .

Por último, cabe destacar que el algoritmo es robusto ante la presencia de dos medidas de captadores iguales dentro de una misma terna, e incluso si las tres coinciden, en cuyo caso devuelve un radio de curvatura de valor infinito, siendo por tanto nula la curvatura.

## E.2. Error en la medida de la curvatura

### E.2.1 Causas de error

La medición del aumento progresivo de curvatura que van adquiriendo las losas durante los ensayos de flexión no es exacta, ya que se ve afectada por diversos factores que no es posible controlar con total precisión. Estas posibles causas de error en las medidas son:



- La falta de verticalidad de los captadores. Así, en caso de estar mínimamente inclinados éstos ya registran un desplazamiento horizontal además del vertical, que es el único que interesa. De esta forma y como se observa en la figura E.2, el captador inclinado ha de realizar un mayor recorrido ( $l'$ ) en las lecturas que el colocado en posición totalmente vertical ( $l$ ) siendo  $l=l'\cdot\cos\alpha$  y  $\alpha$  el ángulo de inclinación, por lo que siempre que ésta exista, al ser el valor del  $\cos\alpha$  menor que 1, el captador medirá una distancia mayor que la real dando lugar a una lectura errónea.

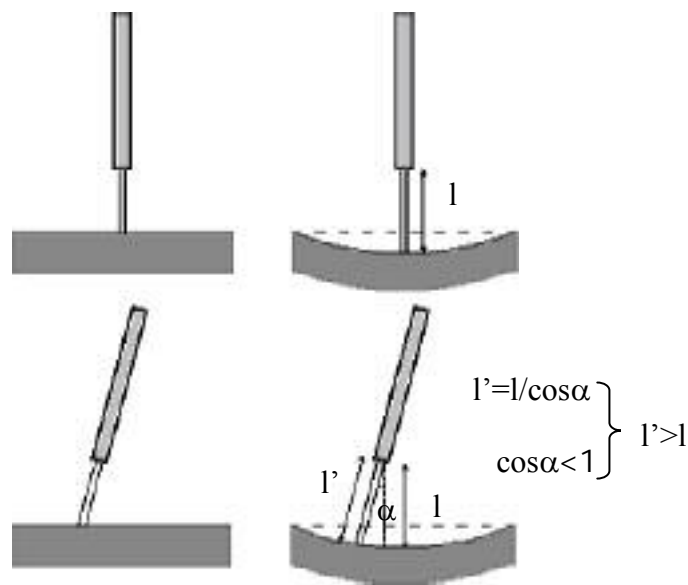


Figura E.2 Recorrido de un captador colocado en posición vertical y de otro inclinado

- A pesar de que no sean causa de error propiamente dicho, las irregularidades de la superficie del hormigón sí son fuente de imprecisiones. No tiene sentido intentar conseguir una superficie completamente plana y pulida, ya que todas las losas presentan rugosidad y pequeños cambios de pendiente que dan lugar a una superficie heterogénea; este hecho se muestra en la figura E.3. Para paliar este efecto se utilizan pequeñas placas metálicas (comentadas con anterioridad) que sirven de punto de apoyo para los captadores de desplazamiento.





Figura E.3 Rugosidades en la superficie de la losa

- El uso de pegamento Araldit, empleado para unir las plaquitas al hormigón. Una vez seco, adquiere forma de masilla de espesor variable. Esto impide que todas las chapas metálicas se puedan situar a una misma distancia de la superficie de hormigón y con una orientación perfectamente horizontal, como sería en un caso ideal.





## ANEXO F. Presupuesto

A continuación se presenta la valoración económica del proyecto, considerando el coste del estudio y de los ensayos realizados:

CONCEPTOS	SUBCONCEPTOS	COSTE UNITARIO	CANTIDAD	COSTE
REALIZACIÓN DE LAS LOSAS	MANO DE OBRA	12,02 €/opxh	3 operarios 6 horas	216,36 €
	HORMIGÓN	78,13 €/m <sup>3</sup>	3 m <sup>3</sup>	234,39 €
REALIZACIÓN DE LAS PROBETAS DE PULL-OUT	MANO DE OBRA	12,02 €/opxh	1 operario 18 horas	216,36 €
	HORMIGÓN	78,13 €/m <sup>3</sup>	0,6 m <sup>3</sup>	46,88 €
TRANSPORTE	ALQUILER CAMIÓN	300,51 €/viaje	1 viaje	300,51 €
MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO EN EL LABORATORIO	MANO DE OBRA	12,02 €/opxh	2 operarios 1 hora	24,04 €
USO DEL LABORATORIO PARA EL ENSAYO		180,30 €/h	60 horas	10.818 €
MANO DE OBRA PARA LA REALIZACIÓN DE		24,04 €/opxh	2 operarios 30 horas	1.442,40 €
HORAS DE INGENIERO		24,04 €/ingxh	2 ingenieros 200 horas	9.616 €
GASTOS DE SECRETARIA				180,30 €
TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS DEL ENSAYO				180,30 €
<b>TOTAL</b>				<b>23.275,54 €</b>





## ANEXO G. Presentación del programa ANSYS

### G.1. El método de los elementos finitos

El término elemento finito resume el concepto básico de este método: la transformación de un sistema físico, con un número infinito de incógnitas, a uno que tiene un número finito de incógnitas relacionadas entre sí por elementos de un tamaño finito.

La transformación de un sistema de ingeniería (con infinitas incógnitas) a un modelo de elementos finitos es una idealización matemática de un sistema real cuyo comportamiento deberá de ser, al menos, intuitivo, pues de otro modo la modelización puede ser muy laboriosa o incluso imposible.

#### G.1.1. Definiciones

- *Elemento*: Representación matemática matricial, denominada matriz de rigidez, de la interacción entre los grados de libertad de un conjunto de nodos. Los elementos pueden ser puntuales, lineales, superficiales, volumétricos,... y pueden estar en espacios bidimensionales o tridimensionales.
- *Nodo*: Localización en el espacio de un punto en el que se considera que existen ciertos grados de libertad (desplazamientos, temperaturas,...) y acciones (fuerzas,...) del sistema físico. Los grados de libertad de cada nodo caracterizan la respuesta del campo (las ecuaciones diferenciales que representan el problema que se quiere resolver), y dependen de los elementos que se conectan en él.

Los elementos se relacionan unos con otros a través de los nodos que tienen en común.



En un sistema estructural, el conjunto de grados de libertad incluye tres traslaciones y tres rotaciones (en los tres ejes del espacio), mientras que las condiciones de contorno estructurales incluyen:

- Restricciones de desplazamientos.
- Fuerzas aplicadas en nudos.
- Presiones sobre los elementos.
- Temperaturas en nudos.
- Cargas volumétricas o de inercia (gravedad).

## **G.2. Diseño y análisis mediante programas de análisis de elementos finitos**

Los programas de análisis por elementos finitos (AEF) permiten obtener soluciones aproximadas de problemas que sean susceptibles de ser representados por un sistema de ecuaciones diferenciales.

En ingeniería, la mayoría de procesos actuales están definidos de dicha forma, por lo que estos programas se utilizan para conseguir productos de calidad superior a un menor coste, o para mejorar procesos existentes, o para estudiar el fallo de un componente estructural o un equipo.

Así, los programas de elementos finitos ayudan a reducir el tiempo total de desarrollo de un producto, reduciendo el número de ciclos prototipo-pruebas-ensayos-evaluación, e incluso ahorrando la realización de un prototipo en casos en que no son deseables o prácticos (aplicaciones biomecánicas, aeroespaciales...).





### **G.3. El programa ANSYS**

ANSYS es un paquete informático de diseño y resolución de problemas de elasticidad, fluidos, magnetismo y termodinámica mediante simulación numérica por el método de los elementos finitos, elaborado por la empresa norteamericana Swanson Analysis Systems.

#### **G.3.1. Características**

Permite realizar cálculos tensionales, tanto estáticos como dinámicos, pandeo, rozamiento, análisis de materiales no lineales (plasticidad, visco-plasticidad, hiperelasticidad, etc.), transferencia de calor en cualquier régimen (estacionario o transitorio) con conducción, convección, radiación y cambio de fase, análisis electro-magnéticos, piezoelectricidad, fluidodinámica, campos acoplados y, en general, cálculos aplicados a las diversas disciplinas de la física.

Además, el software ANSYS resuelve los efectos combinados de múltiples fuerzas, modelando con precisión comportamientos que son el resultado de interacciones multidisciplinarias, e incluye capacidades avanzadas de simulación de materiales no lineales así como algunos de los mejores solvers del mercado.

El amplio número de problemas y situaciones diferentes que pueden simularse con este software hacen que su empleo esté muy extendido tanto en el ámbito industrial como en el educativo.

#### **G.3.2. Funcionamiento**

##### **G.3.2.1 Proceso**

El programa está estructurado en tres grandes módulos, que corresponden a las tres etapas naturales de resolución de un problema, estando todos integrados en un interfaz de usuario único:



1. *Preproceso (PREP7)*: Planteamiento y definición del problema, mediante tres pasos:

- Definir los keypoints, líneas, áreas y volúmenes necesarios.
- Definir los tipos de elemento a utilizar y las propiedades materiales y geométricas.
- Mallar las líneas, áreas y volúmenes que lo requieran.

El nivel de detalle requerido dependerá de la dimensionalidad del análisis (por ejemplo, 1D, 2D, axisimétrico, 3D,...). En la figura G.1 aparecen diversos modelos a modo de ejemplo.

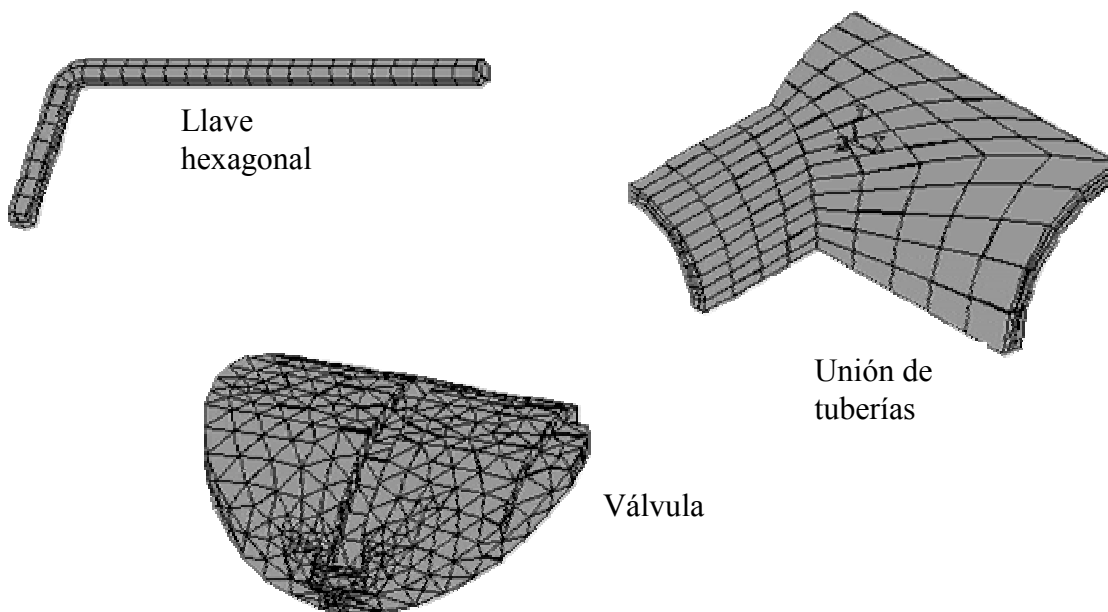


Figura G.1 Modelos realizados mediante ANSYS

2. *Resolución (SOLU)*: Aplicación de las cargas (puntuales o presiones) y condiciones de contorno (translacionales y rotacionales) y definición del tipo de análisis y los algoritmos de cálculo a emplear en la solución del problema. A continuación se resuelven las ecuaciones planteadas.
3. *Postproceso (POST1-POST26)*: Análisis, tratamiento y visualización de resultados, tales como:



- Desplazamientos nodales.
- Fuerzas y momentos en los elementos.
- Diagramas de deformaciones.
- Diagramas de tensiones.

### G.3.2.2 Entorno gráfico

El entorno gráfico interactivo del programa, apreciable en la figura G.2, se divide en diferentes partes:

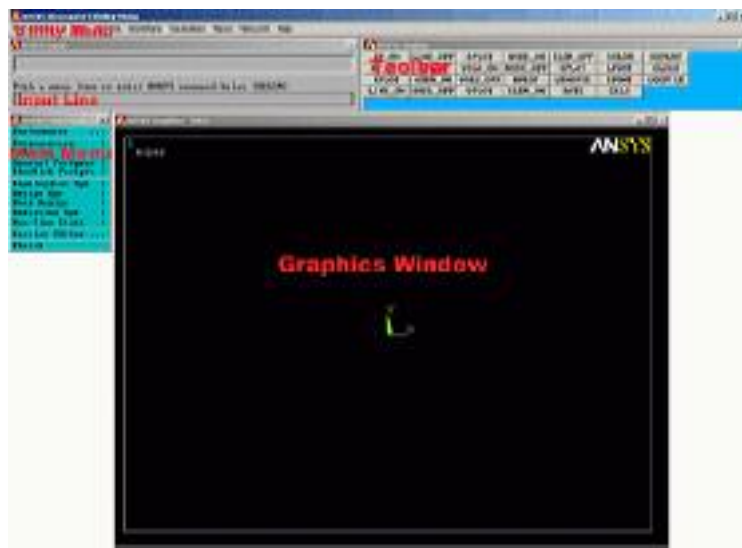


Figura G.2 Entorno gráfico de ANSYS

1. *Menú de utilidades (Utility menu)*: Situado en la parte superior, donde se agrupan los menús desplegables con la mayoría de utilidades necesarias para controlar el entorno de la aplicación, los ficheros, la selección de entidades, efectuar listados, controlar los menús, etc. Puede observarse en la figura G.3.



Figura G.3 Menú de utilidades de ANSYS



2. *Línea de entrada (Input line)*: En ella, como se ve en la figura G.4, se pueden escribir los comandos de Ansys directamente, siendo ejecutados por el programa.

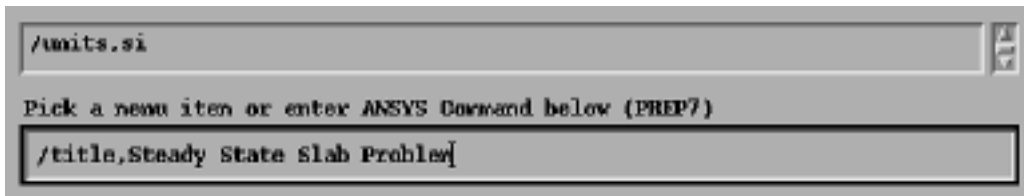


Figura G.4 Línea de entrada de ANSYS

3. *Barra de herramientas (Toolbar)*: Donde pueden ponerse aquellos comandos empleados con mayor frecuencia, para su uso inmediato.
4. *Menú principal (Main menu)*: En él se encuentran los diferentes subprogramas de que se compone la aplicación, y que permiten la realización del modelo de elementos finitos, la aplicación de las solicitaciones y la posterior revisión de los resultados.
5. *Ventana gráfica (Graphics)*: Donde se muestra toda la información gráfica necesaria para visualización, creación del modelo y revisión de resultados. Aparece en la figura G.5.



Figura G.5 Ventana gráfica de Ansys

6. *Ventana de salida (Output)*: En el caso de no haber redirigido la salida a un fichero, en ella se mostrará, como se observa en la figura G.6, toda la información que el programa vaya generando a medida que se trabaja con ANSYS.





2. *Mediante la entrada directa de los comandos:* Las instrucciones se escriben directamente en la línea de comandos de ANSYS. Destaca el gran número de comandos disponibles en cualquiera de los tres grandes módulos que componen el programa, por lo que este método de trabajo permite obtener una mayor velocidad en la entrada de instrucciones a los usuarios experimentados.

ANSYS dispone de una amplia librería de elementos 2D y 3D (vigas, placas, muelles, sólidos,...) que permiten la resolución de problemas estáticos y dinámicos. Aparte de los análisis mecánicos clásicos, ANSYS también es útil para la resolución de problemas de tipo térmico, acústico, magnético, modal,...

Independientemente de los módulos antes mencionados, el programa dispone de una gran variedad de utilidades para controlar las funciones de visualización, registro, configuración de la interfase interactiva, importación y exportación de datos, representación gráfica de resultados,... Ésto último es de gran importancia, ya que además de la potencia y rapidez de un programa de simulación numérica, también se valora mucho la calidad de las representaciones gráficas que permite generar. Además, permite importar y exportar modelos de cálculo, por lo que resulta relativamente sencillo transmitir información con otros paquetes de simulación numérica o diseño. La definición y tamaño de los modelos de cálculo ha sufrido un gran avance en los últimos años gracias a la enorme potencia de cálculo de ordenadores actuales, como se aprecia en la figura G.8. En el análisis de estructuras complejas la modelización es la etapa más importante en cuanto al tiempo total de trabajo, por lo que los programas de diseño disponen de módulos de generación de modelos de elementos finitos e incluso de cálculo. Por ello resulta muy interesante la importación de modelos de cálculo desde CAD a ANSYS, permitiendo un gran ahorro de tiempo de trabajo.

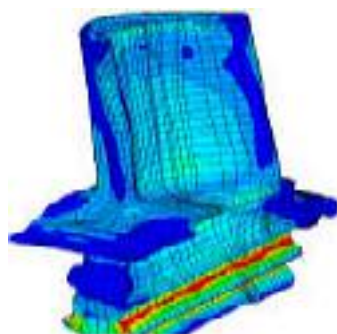


Figura G.8 Modelo complejo realizado mediante ANSYS



## ANEXO H. Macros empleadas en la modelización mediante ANSYS

### H.1. Análisis de un nervio de la chapa RD70 sometido a tracción pura

#### H.1.1. Macro de creación de la geometría del modelo

*! Inicio de la macro:*

/batch

/PREP7

*! Definición de los elementos que simularán la chapa de acero y el bloque de hormigón que forman la losa mixta:*

ET,1,SOLID95

ET,2,SHELL93

R,1,.75,,,,,

*! Definición de las propiedades de los materiales que emplearemos para simular el comportamiento de la losa mixta:*

MP,EX,1,20000

MP,NUXY,1,.15

MP,EX,2,2.03428E5

MP,NUXY,2,.28

MP,EX,3,1

MP,NUXY,3,0

*! Creación de la curva tensión-deformación:*

TB,MISO,2,1,7

TBTEMP,0

TBPT,,.0013125,267

TBPT,,.001673,308

TBPT,,.002307,350



TBPT,,.003,370

TBPT,,.004,374

TBPT,,.0075,380

TBPT,,.1,380

*! Inicio del dibujo del modelo: definición de los keypoints que dan forma a medio nercio del perfil de la chapa de acero.*

K, ,90,3,,

K, ,81.25,3,,

K, ,78.25,,,

K, ,63.4,,,

K, ,35,70,,

K, ,14,70,,

k,,11,67,,

k,,,67,,

*! Unión mediante líneas de los keypoints definidos anteriormente:*

L, 8, 7

L, 6, 5

L, 5, 4

L, 4, 3

L, 2, 1

L2TAN,1,2

L2TAN,4,5

LFILLT,2,3,5, ,

LFILLT,3,4,5, ,

*! Generación de las áreas que dan forma al nervio de la chapa de acero:*

K, ,0,67,40,

L, 8, 13

LPLO

FLST,2,9,4,ORDE,2

FITEM,2,1

FITEM,2,-9





ADRAG,P51X, , , , , 10

K, ,0,75,0,

L, 8, 24

*! Fusión de los elementos coincidentes y reenumeración de todos los elementos:*

NUMM,ALL

NUMC,ALL

LDRAG, 13, , , , , 29

*! Generación del primer área de hormigón:*

L,23,24

FLST,2,4,4

FITEM,2,29

FITEM,2,10

FITEM,2,30

FITEM,2,31

AL,P51X

*! Generación de áreas del bloque de hormigón:*

FLST,3,1,4,ORDE,1

FITEM,3,31

LGEN,2,P51X, , ,90, , ,0

L, 1, 25

L, 22, 26

FLST,2,4,4

FITEM,2,28

FITEM,2,32

FITEM,2,34

FITEM,2,33

AL,P51X

L, 24, 26

L, 23, 25

FLST,2,4,4



FITEM,2,31

FITEM,2,32

FITEM,2,35

FITEM,2,36

AL,P51X

*! Generación de las áreas que forman las paredes laterales del bloque de hormigón:*

FLST,2,12,4

FITEM,2,29

FITEM,2,1

FITEM,2,6

FITEM,2,2

FITEM,2,8

FITEM,2,3

FITEM,2,9

FITEM,2,4

FITEM,2,7

FITEM,2,5

FITEM,2,33

FITEM,2,36

AL,P51X

FLST,2,12,4

FITEM,2,30

FITEM,2,11

FITEM,2,13

FITEM,2,15

FITEM,2,17

FITEM,2,19

FITEM,2,21

FITEM,2,23

FITEM,2,25

FITEM,2,27

FITEM,2,34

FITEM,2,35



AL,P51X

*! Generación del volumen del bloque de hormigón a partir de las áreas ya definidas:*

FLST,2,14,5,ORDE,2

FITEM,2,1

FITEM,2,-14

VA,P51X

*! Selección del área de contacto entre la chapa de acero y el hormigón:*

FLST,5,9,5,ORDE,2

FITEM,5,1

FITEM,5,-9

ASEL,S, , ,P51X

*! Generación de las dos áreas coincidentes: una de la chapa y otra del bloque de hormigón:*

FLST,3,9,5,ORDE,2

FITEM,3,1

FITEM,3,-9

AGEN,2,P51X, , , , , ,1

*! Selección de todos los elementos:*

ALLS

ASLV,U

*! División en dos partes de las líneas laterales del área que contendrá las embuticiones:*

LDIV,52, , ,2,1

FLST,2,2,4,ORDE,2

FITEM,2,65

FITEM,2,-66

LDELE,P51X

LDIV,50, , ,2,1

FLST,2,2,4,ORDE,2

FITEM,2,65

FITEM,2,-66



LDELE,P51X

*! Reenumeración de todos los elementos:*

NUMC,ALL

*! Colocación del WP (working plane) según ciertos keypoints y rotación de 45° en el eje Z, para situar las embuticiones:*

KWPLAN,-1, 47, 48, 17

wprot,45

*! Definición de la proyección de una embutición sobre la cara de la chapa que la incluye:*

RECTNG,-26,26,-7.6,7.6,

RECTNG,-21,21,-2.6,2.6,

FLST,2,2,5,ORDE,2

FITEM,2,24

FITEM,2,-25

ASBA, 24, 25

LFILLT,65,68,7.6, ,

LFILLT,68,67,7.6, ,

LFILLT,69,72,2.6, ,

LFILLT,72,71,2.6, ,

LFILLT,66,67,7.6, ,

LFILLT,66,65,7.6, ,

LFILLT,70,71,2.6, ,

LFILLT,70,69,2.6, ,

ADELE, 26

FLST,2,16,4,ORDE,16

FITEM,2,66

FITEM,2,68

FITEM,2,70

FITEM,2,72

FITEM,2,74

FITEM,2,-75

FITEM,2,77



FITEM,2,79  
FITEM,2,-80  
FITEM,2,82  
FITEM,2,84  
FITEM,2,-85  
FITEM,2,87  
FITEM,2,89  
FITEM,2,-90  
FITEM,2,92  
LDELE,P51X, , ,1  
FLST,2,6,4  
FITEM,2,67  
FITEM,2,83  
FITEM,2,86  
FITEM,2,65  
FITEM,2,73  
FITEM,2,76  
AL,P51X  
FLST,2,6,4  
FITEM,2,81  
FITEM,2,78  
FITEM,2,69  
FITEM,2,71  
FITEM,2,88  
FITEM,2,91  
AL,P51X

*! Borrado de la proyección de la parte superior de la embutición:*

ASBA, 24, 25

*! Copia de la proyección de la embutición en la chapa:*

AGEN,2,26, , , , -40, ,1



*! Partición de las proyecciones de las embuticiones en las intersecciones con los lados de la chapa que las contiene:*

FLST,2,3,5,ORDE,3

FITEM,2,19

FITEM,2,24

FITEM,2,26

APTN,P51X

*! Eliminación de la parte de las proyecciones que no coinciden con la chapa:*

FLST,2,2,5,ORDE,2

FITEM,2,29

FITEM,2,30

ADELE,P51X, , ,1

*! Reenumeración de todos los elementos:*

NUMC,ALL

*! Activación de las coordenadas cartesianas a partir del WP activo:*

CSWPLA,11,0,1,1,

*! Elevación de las proyecciones de las embuticiones sobre la chapa:*

AGEN,2,23,24, , , ,2, ,1

*! Borrado de las proyecciones incluidas en la chapa:*

FLST,2,2,5,ORDE,2

FITEM,2,25

FITEM,2,-26

ADELE,P51X

FLST,2,2,5,ORDE,2

FITEM,2,23

FITEM,2,-24

ADELE,P51X



*! Reenumeración de todos los elementos:*

numc,all

*! Creación de las líneas que dan forma a las paredes de las embuticiones:*

LSTR, 55, 75

LSTR, 76, 56

LSTR, 77, 67

LSTR, 78, 68

LSTR, 73, 49

LSTR, 71, 51

LSTR, 66, 69

LSTR, 70, 65

*! Creación de las paredes de forma trapezoidal de las embuticiones:*

FLST,2,4,4

FITEM,2,83

FITEM,2,98

FITEM,2,102

FITEM,2,99

AL,P51X

FLST,2,4,4

FITEM,2,100

FITEM,2,96

FITEM,2,101

FITEM,2,84

AL,P51X

FLST,2,4,4

FITEM,2,77

FITEM,2,103

FITEM,2,93

FITEM,2,106

AL,P51X

FLST,2,4,4

FITEM,2,90



FITEM,2,105

FITEM,2,78

FITEM,2,104

AL,P51X

*! Creación de las paredes de forma cónica de las embuticiones:*

FLST,2,14,4,ORDE,6

FITEM,2,65

FITEM,2,-66

FITEM,2,69

FITEM,2,-76

FITEM,2,79

FITEM,2,-82

LDELE,P51X, , ,1

LCOMB,63,64,0

LCOMB,67,68,0

LCOMB,94,95,0

LCOMB,91,92,0

FLST,2,4,4

FITEM,2,94

FITEM,2,99

FITEM,2,67

FITEM,2,100

AL,P51X

FLST,2,4,4

FITEM,2,91

FITEM,2,103

FITEM,2,63

FITEM,2,104

AL,P51X

*! Cambio de la orientación de la normal al área sin cambiar la de los elementos:*

AREVERSE,31,1





*! Selección de todos los elementos:*

alls

*! Borrado del volumen que forma el bloque de hormigón:*

VDELE, 1

*! Borrado de las paredes laterales y la pared preembutición del bloque de hormigón:*

FLST,2,2,5,ORDE,2

FITEM,2,13

FITEM,2,-14

ADELE,P51X

*! Reenumeración de todos los elementos:*

NUMC,ALL

*! Generación del área que contiene las embuticiones:*

AGEN,2,21,29, ,0,0,0, ,1

*! Generación de las áreas que forman las paredes laterales del bloque de hormigón, incluyendo esta vez las embuticiones:*

ASEL,U,AREA,,13,29,1

LSLA

KSLL

NUMM,ALL

NUMC,ALL

FLST,2,16,4

FITEM,2,30

FITEM,2,11

FITEM,2,13

FITEM,2,15

FITEM,2,17

FITEM,2,98

FITEM,2,107

FITEM,2,105

FITEM,2,110



FITEM,2,94  
FITEM,2,21  
FITEM,2,23  
FITEM,2,25  
FITEM,2,27  
FITEM,2,34  
FITEM,2,35  
AL,P51X  
FLST,2,16,4  
FITEM,2,5  
FITEM,2,7  
FITEM,2,4  
FITEM,2,9  
FITEM,2,93  
FITEM,2,113  
FITEM,2,99  
FITEM,2,111  
FITEM,2,2  
FITEM,2,8  
FITEM,2,89  
FITEM,2,6  
FITEM,2,1  
FITEM,2,29  
FITEM,2,36  
FITEM,2,33  
AL,P51X  
ASEL,S, , , 12  
\*do,i,1,20  
lsla  
asll  
\*enddo



*! Colocación del WP según ciertos keypoints y translación del WP a otro keypoint:*

KWPLAN,-1, 23, 25, 26

KWPAVE, 10

*! Modelización del bloque de hormigón, dividiéndolo en varios volúmenes:*

FLST,2,3,5,ORDE,3

FITEM,2,11

FITEM,2,39

FITEM,2,-40

ASBW,P51X

KWPLAN,-1, 25, 81, 82

KWPAVE, 19

FLST,2,2,5,ORDE,2

FITEM,2,45

FITEM,2,-46

ASBW,P51X

L, 83, 84

FLST,2,4,4

FITEM,2,18

FITEM,2,125

FITEM,2,120

FITEM,2,124

AL,P51X

FLST,2,4,4

FITEM,2,120

FITEM,2,123

FITEM,2,117

FITEM,2,34

AL,P51X

FLST,2,11,5,ORDE,6

FITEM,2,1

FITEM,2,-4

FITEM,2,10

FITEM,2,12



FITEM,2,42  
FITEM,2,-46  
VA,P51X  
aslv,u  
FLST,5,2,5,ORDE,2  
FITEM,5,45  
FITEM,5,-46  
ASEL,A, , ,P51X  
FLST,2,4,4  
FITEM,2,22  
FITEM,2,120  
FITEM,2,122  
FITEM,2,33  
AL,P51X  
FLST,2,8,5,ORDE,7  
FITEM,2,7  
FITEM,2,-9  
FITEM,2,11  
FITEM,2,39  
FITEM,2,41  
FITEM,2,46  
FITEM,2,48  
VA,P51X  
aslv,u  
ADELE, 5, , ,1  
FLST,5,2,5,ORDE,2  
FITEM,5,45  
FITEM,5,48  
ASEL,A, , ,P51X  
va,all

*! Selección de todos los elementos:*

alls



*! Trazado de los volúmenes:*

/pnum,volu,1

vplo

*! Selección de las áreas de los volúmenes en contacto con la chapa metálica:*

ASEL,S,AREA,,13,38

*! Cambio de la orientación de la normal a las áreas:*

AREVERSE,ALL,0

*! Selección de todos los elementos:*

ALLS

*! Activación del sistema de coordenadas cartesiano:*

csys,0

*! Colocación del WP (working plane) según ciertos keypoints:*

KWPLAN,-1, 83, 19, 84

*! División del volumen superior del bloque de hormigón en dos partes:*

VSBW, 1

*! División en dos partes de las líneas que delimitan la curva superior de la chapa:*

LDIV,17, , ,2,0

LDIV,8, , ,2,0

*! Colocación del WP (working plane) según ciertos keypoints:*

KWPLAN,-1, 87, 86, 88

*! División en dos partes del volumen superior a través del WP:*

VSBW, 5

*! Copia de todos los volúmenes del bloque de hormigón a una distancia Z=40mm:*

VGEN,2,all, , , ,40, ,1



*! Fusión de los keypoints coincidentes en la cara común de los dos bloques de volúmenes:*

ASLV

LSLA

KSLL

KSEL,R,LOC,Z,40

NUMM,KP

*! Selección de todos los elementos:*

ALLS

*! Extrusión de las áreas seleccionadas una altura de 80mm:*

FLST,2,4,5,ORDE,4

FITEM,2,5

FITEM,2,52

FITEM,2,82

FITEM,2,89

VEXT,P51X, , ,0,150-70,0,,,

*! Vista isométrica:*

/VIEW,1,1,1,1

/PNUM,AREA,1

/numb,1

*! Trazado de las áreas:*

APLO

*! Reenumeración de todos los elementos:*

NUMC,ALL

save



## H.1.2. Macro del mallado del modelo

*! Inicio de la macro:*

FINI

/PREP7

*! Borrado de los volúmenes que forman el bloque de hormigón:*

FLST,2,14,6,ORDE,2

FITEM,2,1

FITEM,2,-14

VDELE,P51X, , ,1

*! Definición de los atributos de los volúmenes seleccionados:*

AATT, 2, 1, 2, 0

\*SET,h,5

*! Activación del mallado libre:*

mshkey,1

*! Mallado de las embuticiones:*

FLST,2,2,5,ORDE,2

FITEM,2,28

FITEM,2,-29

AESIZE,P51X,h,

FLST,2,6,5,ORDE,2

FITEM,2,24

FITEM,2,-29

AESIZE,P51X,h,

FLST,5,8,5,ORDE,2

FITEM,5,22

FITEM,5,-29

CM,\_Y,AREA

ASEL, , , ,P51X

CM,\_Y1,AREA



```
CHKMSH,'AREA'  
CMSEL,S,_Y  
AMESH,_Y1  
CMDELE,_Y  
CMDELE,_Y1  
CMDELE,_Y2  
FLST,5,2,5,ORDE,2  
FITEM,5,24  
FITEM,5,28  
CM,_Y,AREA  
ASEL, , , ,P51X  
CM,_Y1,AREA  
CMSEL,S,_Y  
CMDELE,_Y
```

*! Cambio de la orientación del eje Z de los elementos de las embuticiones que la tienen diferente al resto:*

```
AREVERSE,_Y1,0  
CMDELE,_Y1
```

*! Mallado de las superficies horizontales de la placa de forma regular mediante elementos de superficie de forma rectangular, salvo la superficie que incluye las embuticiones y las cuatro curvadas:*

```
FLST,5,8,4,ORDE,8  
FITEM,5,38  
FITEM,5,40  
FITEM,5,42  
FITEM,5,45  
FITEM,5,52  
FITEM,5,55  
FITEM,5,58  
FITEM,5,61  
CM,_Y,LINE  
LSEL, , , ,P51X
```





```
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,7,,,,1
FLST,5,2,4,ORDE,2
FITEM,5,37
FITEM,5,39
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,,2,,,,1
FLST,5,2,4,ORDE,2
FITEM,5,44
FITEM,5,46
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,,3,,,,1
FLST,5,2,4,ORDE,2
FITEM,5,54
FITEM,5,56
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,,2,,,,1
FLST,5,2,4,ORDE,2
FITEM,5,60
FITEM,5,62
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
```



```
LESIZE,_Y1,,2,,,,,1
FLST,5,2,4,ORDE,2
FITEM,5,48
FITEM,5,50
CM,_Y,LINE
LSEL,,,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,,,,7,,,,,1
FLST,5,4,5,ORDE,4
FITEM,5,13
FITEM,5,15
FITEM,5,18
FITEM,5,20
CM,_Y,AREA
ASEL,,,,,P51X
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
AMESH,_Y1
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
```

*! Mallado del área que contiene las embuticiones:*

```
AESIZE,21,3,
MSHAPE,
MSHKEY,
AMES,21
```

*! Mallado de las cuatro superficies curvadas:*

```
FLST,5,8,4,ORDE,8
FITEM,5,41
FITEM,5,43
```



```
FITEM,5,47
FITEM,5,49
FITEM,5,51
FITEM,5,53
FITEM,5,57
FITEM,5,59
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1, , ,2, , , ,1
MSHKEY,1
FLST,5,4,5,ORDE,4
FITEM,5,14
FITEM,5,16
FITEM,5,-17
FITEM,5,19
CM,_Y,AREA
ASEL, , , ,P51X
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
AMESH,_Y1
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
NUMMRG,ALL, , , ,LOW
NUMCMP,ALL
```



### H.1.3. Macro de simulación de la tracción

*! Se tracciona la chapa forzando un desplazamiento de 0'002 mm en la dirección UZ de uno de sus extremos y forzando el otro:*

FINISH

/PREP7

numc,all

AGEN,5,all, , , , ,40,0,0

FLST,3,85,5,ORDE,2

FITEM,3,1

FITEM,3,-85

ARSYM,Z,P51X, , , ,0,0

FLST,3,85,5,ORDE,2

FITEM,3,86

FITEM,3,-170

ARSYM,X,P51X, , , ,0,1

FLST,3,85,5,ORDE,2

FITEM,3,86

FITEM,3,-170

AGEN, ,P51X, , , , ,200, , ,1

FINISH

/PREP7

NUMM,ALL

NUMC,ALL

/SOLU

/REP,FAST

FLST,2,10,4,ORDE,10

FITEM,2,25

FITEM,2,69

FITEM,2,108

FITEM,2,147

FITEM,2,186

FITEM,2,232

FITEM,2,275



FITEM,2,313  
FITEM,2,351  
FITEM,2,389  
DL,P51X, ,SYMM  
/PREP7  
NUMMRG,ALL, , ,LOW  
NUMCMP,ALL  
/SOLU  
FLST,2,26,4,ORDE,26  
FITEM,2,171  
FITEM,2,174  
FITEM,2,176  
FITEM,2,178  
FITEM,2,180  
FITEM,2,183  
FITEM,2,185  
FITEM,2,187  
FITEM,2,191  
FITEM,2,195  
FITEM,2,201  
FITEM,2,203  
FITEM,2,206  
FITEM,2,209  
FITEM,2,212  
FITEM,2,215  
FITEM,2,218  
FITEM,2,221  
FITEM,2,225  
FITEM,2,228  
FITEM,2,231  
FITEM,2,234  
FITEM,2,238  
FITEM,2,244  
FITEM,2,256



FITEM,2,258

/GO

DL,P51X, ,UZ,.002

FLST,2,26,4,ORDE,26

FITEM,2,1

FITEM,2,5

FITEM,2,8

FITEM,2,11

FITEM,2,15

FITEM,2,18

FITEM,2,21

FITEM,2,24

FITEM,2,33

FITEM,2,35

FITEM,2,37

FITEM,2,51

FITEM,2,52

FITEM,2,375

FITEM,2,377

FITEM,2,379

FITEM,2,381

FITEM,2,383

FITEM,2,386

FITEM,2,388

FITEM,2,390

FITEM,2,394

FITEM,2,398

FITEM,2,404

FITEM,2,406

FITEM,2,409

/GO

DL,P51X, ,UZ,

/VIEW, 1 ,1,1,1

/ANG, 1



/REP,FAST

FINISH

/SOLU

/STATUS,SOLU

SOLVE

FINISH



## H.2. Simulación del ensayo Pull-out

### H.2.1. Perfil CRR

*! Inicio de la macro:*

/VIEW,1,1,1,1

\*ask, hp, altura total perfilat, 43

\*ask, alf, angle perfilat superior, 15

\*ask, bet, angle perfilat lateral, 30

\*ask, b, amplada perfilat superior, 52

\*ask, r1, radi perfilat superior, 8

\*ask, r2, radi perfilat inferior, 10

\*ask, c1, dimensions embuticio: ample punta, 4

\*ask, d1, dimensions embuticio: ample base, 13

\*ask, c2, dimensions embuticio: longitud punta, 20

\*ask, d2, dimensions embuticio: longitud base, 28

\*ask, he, profunditat embuticio, 2

\*ask, x1, xmin canal base, 35

\*ask, hc, altura canal lateral, 2

\*ask, ac1, amplada base canal lateral, 23

\*ask, ac2, amplada punta canal lateral, 10

\*ask, s, longitud del patro de repeticio, 40

\*ask, l, separacio cargols laterals de subjeccio, 264

\*ask, t, gruix de la xapa, 0.75

\*ask, freg, coeficient de friccio, 0.2

\*ask, rat, ratio de friccio, 1

\*ask, df, decay factor, 0

alf=alf\*3.14159/180

bet=bet\*3.14159/180

yb=hp-b/2\*tan(alf)

af=170 !\*\*amplada del formigó

hf=300 !\*\*longitud de formigó





*! Preproceso:*

/prep7

!\*Type1 real1 mat1: placa acero

!\*Type2 real2 mat2: TARGET FORM

!\*Type3 real2 : CONTACT ACER-FORM

!\*Type4 real3 mat3: TARGET SYMM

!\*Type5 real3 : CONTACT ACER-SYMM

!\*Type6 real6 : Resorte transversal LINK8

*! Propiedades del acero:*

ET,1,SHELL181

R,1,t

MP,EX,1,2.03428E5

MP,NUXY,1,-.28

TB,MISO,1,1,7

TBTEMP,0

TBPT,,.0013125,267

TBPT,,.001673,308

TBPT,,.002307,350

TBPT,,.003,370

TBPT,,.004,374

TBPT,,.0075,380

TBPT,,.1,380

*! Creación de contactos acero-hormigón:*

MP,MU,2,freg

ET,2,TARGE170,,1,

ET,3,CONTA174,,,,,1,,,,1,,,

R,2,,,1.0,0.1,0,

RMORE,,,1.0E20,0.0,1.0,

RMORE,0.0,0,1.0,,1.0,0.5

RMORE,0,0.5,fact,df,



*! Creación de contactos acero-simetría:*

MP,MU,3,0  
ET,4,TARGE170,,1,  
ET,5,CONTA174,,,,,1,,,,1,,,  
R,3,,,1.0,0.1,0,  
RMORE,,,1.0E20,0.0,1.0,  
RMORE,0.0,0,1.0,,1.0,0.5  
RMORE,0,0.5,1.0,0.0,

*! Generación del resorte transversal:*

ET,6,LINK8  
R,6,1.875e-3,-.2, ,  
MP,EX,3,2.0E5

*! Generación del perfil:*

k,1,,hp  
,2,b/2,yb  
,3,b/2-yb\*tan(bet)  
,4,x1  
,5,x1+ac1/2-ac2/2,hc  
,6,x1+ac1/2+ac2/2,hc  
,7,x1+ac1  
,8,l/2  
l,1,2  
,2,3  
,3,4  
,4,5  
,5,6  
,6,7  
,7,8

*! Creación de los radios del perfilado:*

LFILLT,1,2,r1, ,  
LFILLT,2,3,r2, ,



*! Generación de la extrusión:*

k,,hp,s  
l,1,13  
FLST,2,9,4,ORDE,2  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-9  
ADRAG,P51X, , , , , 10

*! Fusionar los elementos coincidentes y reenumerar:*

NUMM,kp  
numc,kp  
numc,line  
numc,area

*! Generación de la embutición:*

WPAVE,,yb,s/2  
wprot,,-90  
BLOCK,0,(d2-d1)/2,-d1/2,d1/2,,2\*(hp-yb),  
BLOCK,0,(d2-d1)/2,-c1/2,c1/2,,2\*(hp-yb)  
CYL4,(d2-d1)/2,0,d1/2,90,0,-90,2\*(hp-yb)  
CYL4,(d2-d1)/2,0,C1/2,90,0,-90,2\*(hp-yb)  
VADD,1,3  
VADD,2,4  
FLST,3,3,5,ORDE,3  
FITEM,3,12  
FITEM,3,-13  
FITEM,3,34  
ASBA, 1,P51X  
FLST,3,3,5,ORDE,3  
FITEM,3,15  
FITEM,3,18  
FITEM,3,-19  
ASBA, 16,P51X



VDELE, 5, , ,1  
VDELE, 1, , ,1  
ADEL,21,,,1  
AGEN, ,1, , , ,he, , , ,1  
APLO  
L, 43, 41  
L, 40, 42  
!\*  
wpoff,(c2-c1)/2  
wprot,0,0,90  
ASBW, 1  
LSBW, 46  
L, 23, 26  
L, 24, 25  
AL,36,38,33,29  
AL,34,39,35,30  
AL,31,39,37,38  
wprot,,90  
FLST,2,4,5,ORDE,4  
FITEM,2,2  
FITEM,2,10  
FITEM,2,13  
FITEM,2,17  
ASBW,P51X  
areverse,all

*! Generación del mallado:*

ESIZE, ,4,  
MSHAPE,0,2D  
MSHKEY,1  
AMESH,19,20  
ESIZE,c1/2, ,  
AMESH,1,12,11  
ESIZE,c1/4, ,



```
MSHKEY,0
AMESH,14,15
LCCAT,41,44
MSHKEY,1
AMESH,11
ESIZE,c1/2,0,
MSHKEY,0
AMESH,21,22
,16,18,2
ESIZE,c1*1.5,0,
AMESH,6,9
ESIZE,c1,0,
MSHKEY,0
AMESH,5
,4
,3
numc,kp
numc,line
numc,area
numc,node
numc,elem
/PREP7
```

*! Generación de las superficies de contacto:*

!\*Acer: 1-18

!\*Formigó: 19-54

!\*Simetria: 55

AGEN,2,ALL, , , , , ,1

KMODIF,55,af/2, , ,

KMODIF,56,af/2, , ,

ASEL,S,AREA,,19,36

AGEN,2,ALL, , , ,S,1

LSLA

KSLL



NUMM,kp

numc,kp

numc,line

numc,area

ALLS

*! Creación de la simetría:*

WPCSYS,-1,0

wprot,0,90

RECTNG,0,1/2,0,2\*s

ASEL,U,AREA,,1,18

AREVERSE,ALL

ALLS

*! Mallado del hormigón:*

MAT,2

REAL,2

TYPE,2

ASEL,S,,,19,54,1

LSLA

esel,u,type,,1

LCCAT,108,109

LCCAT,59,60

LCCAT,124,125

LCCAT,81,82

SMRT,OFF

ESIZE,4\*C1,0,

MSHKEY,1

LESIZE,61,,8,,,,0

LESIZE,89,,6,,,,0

FLST,5,18,5,ORDE,9

FITEM,5,19

FITEM,5,27

FITEM,5,-30



```
FITEM,5,33
FITEM,5,-37
FITEM,5,45
FITEM,5,-48
FITEM,5,51
FITEM,5,-54
ASEL,U,, ,P51X
AMES,ALL
FLST,5,8,4,ORDE,8
FITEM,5,86
FITEM,5,88
FITEM,5,95
FITEM,5,-96
FITEM,5,129
FITEM,5,131
FITEM,5,137
FITEM,5,-138
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,, ,4,, , ,0
ASEL,S,,,19,54,1
ESIZE,C1/2
MSHKEY,0
AMESH,ALL
ALLS
```

*! Definición del "Pilot node":*

```
TSHAPE,PILOT
KMESH,67
```



*! Mallado del contacto acero-hormigón:*

MAT,2  
REAL,2  
TYPE,3  
TSHAPE,QUAD  
ASEL,S,AREA,,1,18  
ESLA  
ESURF  
ALLS

*! Mallado del elemento de simetría:*

MAT,3  
REAL,3  
TYPE,4  
ASEL,S, , ,55  
LSLA  
LESIZE,ALL, , ,1, , , ,0  
ALLS  
AMES,55  
TSHAPE,PILOT  
KMESH,92

*! Mallado del contacto acero-simetría:*

MAT,3  
REAL,3  
TYPE,5  
ASEL,S,AREA,,3,8  
ESLA  
ESURF  
ESURF,,REVERSE  
ALLS





*! Generación del resorte transversal:*

!\*Línea 151

K,,,HP+10

L,67,96

TYPE,6

REAL,6

ESIZE,10

LMESH,151

/SOLU

*! Condiciones de simetría: Simetría transversal en el plano yz:*

ESEL,TYPE,1

NSLE

NSEL,R,LOC,X,0

DSYM,SYMM,X,0,

ALLS

*! Encastamiento del nodo superior LINK8:*

DK,96,ALL,0

*! Encastamiento (excepto UZ) de la línea de fijación de los conectores:*

DL,27,,ALL,0

DLDEL,27,UZ

*! Fijación de los elementos de simetría i hormigón (“pilot nodes”):*

DK,92,ALL,0 !Simetria

DK,67,all,0 !Formigó

DKDEL,67,UY

*! Condiciones de contorno: acoplamientos cíclicos:*

ESEL,TYPE,1

NSLE,s,1

CM,acer,node

NSEL,S,LOC,Z,0



```
NSEL,A,LOC,Z,S
CMSE,R,acer
CPCYC,UY,0.0001,0,,,S,1
CPCYC,ROTX,0.0001,0,,,S,1
NSEL,U,LOC,X,0
CPCYC,UX,0.0001,0,,,S,1
CPCYC,ROTY,0.0001,0,,,S,1
CPCYC,ROTZ,0.0001,0,,,S,1
alls
```

*! Acoplamiento de tracción:*

```
NSEL,S,LOC,Z,0
NSEL,A,LOC,Z,S
CMSEL,R,acer
*GET,NM2,NODE,,num,min
CP,NEXT,UZ,ALL
alls
save
```

*! Cálculo del modelo:*

```
/solu
ANTYPE,STAT,NEW
SOLCONTROL,ON!,ON
RESCONTROL,DEFINE,NONE
NLGEOM,ON
NROPT,UNSY, ,OFF
PRED,ON
```

*! Paso 1: interacción inicial:*

```
TIME,1e-8
NSUBST,1
AUTOTS,OFF
NEQIT,100
!D,NM2,UZ,0
```



SOLVE

*! Paso 2: tracción pequeña:*

D,NM2,UZ,1e-4

TIME,1e-4

DELTIM,.0001

SOLVE

*! Paso 3: 0.05mm, sólo guarda el último “substep” (paso automático):*

NEQIT,25

AUTOTS,ON

DELTIM,.01,.0000001,.2,ON

D,NM2,UZ,.05

TIME,.05

SOLVE

*! Paso 4: 2mm, guarda 19 “substeps” equidistantes:*

OUTRES,ALL,-19

D,NM2,UZ,2

TIME,2

SOLVE

*! Paso 5: 6mm, guarda 60 “substeps” equidistantes:*

OUTRES,ALL,-60

D,NM2,UZ,6

TIME,6

SOLVE

*! Paso 6: s mm, guarda 20 “substeps” equidistantes:*

OUTRES,ALL,-30

D,NM2,UZ,s

TIME,s

SOLVE



*! Postproceso:*

FINISH

/POST26

!FILE,'file','rst',''

!TIMERANGE,0,25

/YRANGE,0,50

/XRANGE,0,s

/AXLAB,X,Slip (mm)

/AXLAB,Y,Total Force (kN)

RFORCE,2,NM2,F,Z,

PROD,2,2, , ,CRR0, , ,2\*2\*hf/s/1000,1,1,

alls

plvar,2

/OUTPUT,CRR0,lis

prvar,2

/output



**H.2.2. Perfil SHR**

*! Inicio de la macro:*

/VIEW,1,1,1,1

\*ask,b,amplada perfilat superior,40

\*ask,a,amplada perfilat inferior,15

\*ask,hp,altura total perfilat,51

\*ask,r1,radi perfilat superior,3

\*ask,r2,radi perfilat inferior,3

\*ask,c1,dimensions embuticio: longitud punta,15

\*ask,d1,dimensions embuticio: longitud base,25

\*ask,c2,dimensions embuticio: amplada punta,5

\*ask,d2,dimensions embuticio: amplada base,15

\*ask,he,profunditat embuticio,2

\*ask,d,distancia del canal lateral al pla mig,40

\*ask,hc,altura canal lateral,1

\*ask,ac,amplada base canal lateral,14

\*ask,s,longitud del patro de repeticio,40

\*ask,l,separacio cargols laterals de subjeccio,264

\*ask,t,gruix de la xapa,0.75

\*ask,freg,coeficient de friccio,0.2

\*ask,rat,radio de friccio,1

\*ask,df,decay factor,0

af=170 !\*\*amplada del formigó

hf=300 !\*\*alçada del formigó

*! Preproceso:*

/prep7

!\*Type1 real1 mat1: placa acer

!\*Type2 real2 mat2: TARGET FORM

!\*Type3 real2 : CONTACT ACER-FORM

!\*Type4 real3 mat3: TARGET SYMM

!\*Type5 real3 : CONTACT ACER-SYMM

!\*Type6 real6 : Resorte transversal LINK8



*! Acero:*

ET,1,SHELL181  
R,1,t  
MP,EX,1,2.03428E5  
MP,NUXY,1,.28  
TB,MISO,1,1,7  
TBTEMP,0  
TBPT,,.0013125,267  
TBPT,,.001673,308  
TBPT,,.002307,350  
TBPT,,.003,370  
TBPT,,.004,374  
TBPT,,.0075,380  
TBPT,,.1,380

*! Contactos acero-hormigón:*

MP,MU,2,freg  
ET,2,TARGE170,,1,  
ET,3,CONTA174,,,,,1,,,1,,,  
R,2,,,1.0,0.1,0,  
RMORE,,,1.0E20,0.0,1.0,  
RMORE,0.0,0,1.0,,1.0,0.5  
RMORE,0,0.5,fact,df,

*! Contactos acero-simetría:*

MP,MU,3,0  
ET,4,TARGE170,,1,  
ET,5,CONTA174,,,,,1,,,1,,,  
R,3,,,1.0,0.1,0,  
RMORE,,,1.0E20,0.0,1.0,  
RMORE,0.0,0,1.0,,1.0,0.5  
RMORE,0,0.5,1.0,0.0,



*! Resorte transversal:*

ET,6,LINK8

R,6,1.875e-3,-.2, ,

MP,EX,3,2.0E5

*! Generación del perfil:*

k,1,,hp

,2,b/2,hp

,3,a/2

,4,d-ac/2

,5,d,hc

,6,d+ac/2

,7,l/2

l,1,2

,2,3

,3,4

,4,5

,5,6

,6,7

*! Radios del perfilado:*

LFILLT,1,2,r1, ,

LFILLT,2,3,r2, ,

*! Extrusión:*

k,,hp,s

l,1,12

FLST,2,8,4,ORDE,2

FITEM,2,1

FITEM,2,-8

ADRAG,P51X, , , , , , 9

numm,kp

numc,kp

numc,line



numc,area

*! Embutición:*

WPAVE,,hp,s/2

wprot,,-90

RECTNG,0,d2/2,-d1/2,d1/2,

wpoff,,he

WPSTYLE,,,,,,,,,0

RECTNG,0,c2/2,-c1/2,c1/2,

ASBA, 1, 9

L, 21, 25

L, 26, 22

L, 27, 23

L, 28, 24

AL,9,30,29,26

AL,29,31,36,27

AL,36,32,37,28

*! Mallado:*

WPCSYS,-1,0

KWPAVE, 24

FLST,2,2,5,ORDE,2

FITEM,2,2

FITEM,2,11

ASBW,P51X

KWPAVE, 21

FLST,2,2,5,ORDE,2

FITEM,2,14

FITEM,2,16

ASBW,P51X

LWPL,-1,26,1

FLST,2,2,5,ORDE,2

FITEM,2,15

FITEM,2,18





```
ASBW,P51X
WPSTYLE,,,,,,,,,0
ASEL,U,AREA,,9,10
ASEL,U,AREA,,12
AREVERSE,ALL
ALLS
ESIZE,2,0,
MSHAPE,0,2D
MSHKEY,1
AMESH,9,11
,13,14
,16,17
,19,20
,1,2
,12
ESIZE,5,0,
LESIZE,8,,4,,,,,0
LESIZE,16,,4,,,,,0
AMES,4,8
MSHKEY,0
SMRT,5
AMES,3
!ENORM,1
EPLO
numc,kp
numc,line
numc,area
numc,node
numc,elem
SAVE
/PREP7
```



*! Generación de las superficies de contacto:*

!\*Acer: 1-18

!\*Formigó: 19-54

!\*Simetria: 55

AGEN,2,ALL, , , , , ,1

KMODIF,55,af/2, , ,

KMODIF,56,af/2, , ,

ASEL,S,AREA,,19,36

AGEN,2,ALL, , , , ,S, ,1

LSLA

KSLL

NUMM,kp

numc,kp

numc,line

numc,area

ALLS

*! Simetría:*

WPCSYS,-1,0

wprot,0,90

RECTNG,0,1/2,0,2\*s

ASEL,U,AREA,,1,18

AREVERSE,ALL

ALLS

*! Mallado del elemento hormigón:*

MAT,2

REAL,2

TYPE,2

ASEL,S,,,19,54,1

LSLA

esel,u,type,,1

FLST,2,3,4,ORDE,3

FITEM,2,103



FITEM,2,109  
FITEM,2,-110  
LCCAT,P51X  
FLST,2,3,4,ORDE,3  
FITEM,2,54  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-62  
LCCAT,P51X  
SMRT,OFF  
ESIZE,15,0,  
MSHKEY,1  
LESIZE,64, , ,4, , , , ,0  
LESIZE,111, , ,4, , , , ,0  
FLST,5,8,5,ORDE,8  
FITEM,5,20  
FITEM,5,22  
FITEM,5,31  
FITEM,5,34  
FITEM,5,38  
FITEM,5,40  
FITEM,5,49  
FITEM,5,52  
ASEL,U, , ,P51X  
AMESH,ALL  
ASEL,S,,,19,54,1  
ESIZE,2  
AMESH,ALL  
ALLS

*! "Pilot node":*

TSHAPE,PILOT

KMESH,65

*! Mallado del contacto acero-hormigón:*

MAT,2



REAL,2  
TYPE,3  
TSHAPE,QUAD  
ASEL,S,AREA,,1,18  
ESLA  
ESURF  
ALLS

*! Mallado del elemento simetría:*

MAT,3  
REAL,3  
TYPE,4  
ASEL,S, , ,55  
LSLA  
LESIZE,ALL, , ,1, , , ,0  
ALLS  
AMES,55  
TSHAPE,PILOT  
KMESH,89

*! Mallado del contacto acero-simetría:*

MAT,3  
REAL,3  
TYPE,5  
ASEL,S,AREA,,4,8  
ESLA  
ESURF  
ESURF,,REVERSE  
ALLS

*! Resorte transversal:*

!\*Línea 145  
K,,HP+10  
L,65,93



```
TYPE,6  
REAL,6  
ESIZE,10  
LMESH,145  
save  
/SOLU
```

*! Condiciones de simetría:*

```
ESEL,TYPE,1  
NSLE  
NSEL,R,LOC,X,0  
DSYM,SYMM,X,0,  
ALLS
```

*! Encastamiento del nodo superior LINK8:*

```
DK,93,ALL,0
```

*! Encastamiento (excepto UZ) de la línea de fijación de los conectores:*

```
DL,23,,ALL,0  
DLDEL,23,UZ
```

*! Fijación de los elementos simetría i hormigón (“pilot nodes”):*

```
DK,89,ALL,0 !Simetria  
DK,65,all,0 !Formigó  
DKDEL,65,UY
```

*! Acoplamientos:*

```
ESEL,TYPE,1  
NSLE,s,1  
CM,acer,node  
NSEL,S,LOC,Z,0  
NSEL,A,LOC,Z,S  
CMSE,R,acer  
CPCYC,UY,0.0001,0,,,S,1
```



```
CPCYC,ROTX,0.0001,0,,,S,1
NSEL,U,LOC,X,0
CPCYC,UX,0.0001,0,,,S,1
CPCYC,ROTY,0.0001,0,,,S,1
CPCYC,ROTZ,0.0001,0,,,S,1
alls
NSEL,S,LOC,Z,0
NSEL,A,LOC,Z,S
CMSEL,R,acer
*GET,NM2,NODE,,num,min
CP,NEXT,UZ,ALL
alls
save
```

*! Cálculo:*

```
/solu
ANTYPE,STAT,NEW
SOLCONTROL,ON!,ON
RESCONTROL,DEFINE,NONE
NLGEOM,ON
NROPT,UNSY, ,OFF
PRED,ON
```

*! Paso 1: interacción inicial:*

```
TIME,1e-8
NSUBST,1
AUTOTS,OFF
NEQIT,100
!D,NM2,UZ,0
SOLVE
```

*! Paso 2: tracción pequeña:*

```
D,NM2,UZ,1e-4
TIME,1e-4
```



DELTIM,.0001

SOLVE

*! Paso 3: 0.05mm, sólo guarda el último “substep” (paso automático):*

NEQIT,25

AUTOTS,ON

DELTIM,.01,.0000001,.2,ON

D,NM2,UZ,.05

TIME,.05

SOLVE

*! Paso 4: 2mm, guarda 19 “substeps” equidistantes:*

OUTRES,ALL,-19

D,NM2,UZ,2

TIME,2

SOLVE

*! Paso 5: 6mm, guarda 60 “substeps” equidistantes:*

OUTRES,ALL,-60

D,NM2,UZ,6

TIME,6

SOLVE

*! Paso 6: s mm, guarda 20 “substeps” equidistantes:*

OUTRES,ALL,-30

D,NM2,UZ,s

TIME,s

SOLVE

*! Postproceso:*

FINISH

/POST26

!FILE,'file','rst',''

!TIMERANGE,0,25



```
/YRANGE,0,50
/XRANGE,0,s
/AXLAB,X,Slip (mm)
/AXLAB,Y,Total Force (kN)
RFORCE,2,NM2,F,Z,
PROD,2,2, , ,SHR0, , ,2*2*hf/s/1000,1,1,
alls
plvar,2
/OUTPUT,SHR0,lis
prvar,2
/output
```





### H.2.3. Perfil QL

*! Inicio de la macro:*

finish

/clear

/VIEW,1,1,1,1

*! Datos del perfilado:*

\*ask,b,amplada perfilat superior,142

\*ask,a,amplada superior nervi,60

\*ask,a2,amplada inferior nervi,54

\*ask,hp,altura total perfilat,60

\*ask,r1,radi perfilat superior,5

\*ask,r2,radi perfilat inferior,5

*! Datos de las embuticiones:*

\*ask,l1p,dimensions embuticio superior: longitud punta,55

\*ask,l1b,dimensions embuticio superior: longitud base,60

\*ask,a1p,dimensions embuticio superior: amplada punta,5

\*ask,a1b,dimensions embuticio superior: amplada base,15

\*ask,p1,profunditat embuticio superior,2

!\*ask,s1,distancia embuticions superiors,25.5

\*ask,d2b,dimensions embuticio inferior: diametre base,15

\*ask,p2,profunditat embuticio inferior,2

$d2e=d2b*d2b/4/p2+p2$

!\*ask,s2,distancia embuticions inferiors,55

\*ask,h3,posicio embuticio lateral des de pla superior,12

\*ask,l3p,dimensions embuticio lateral: longitud punta,45

\*ask,l3b,dimensions embuticio lateral: longitud base,55

\*ask,a3p,dimensions embuticio lateral: amplada punta,4

\*ask,a3b,dimensions embuticio lateral: amplada base,10

\*ask,p3,profunditat embuticio lateral,2

\*ask,s,distancia embuticions laterals,75

\*ask,l,separacio cargols laterals de subjeccio,364



\*ask,t,gruix de la xapa,0.75  
\*ask,af,amplada formigó,260  
\*ask,freg,coeficient de friccio,0.2  
\*ask,rat,radio de friccio,1  
\*ask,df,decay factor,0  
hf=300 !\*\*longitud del hormigón

*! Preproceso:*

/prep7

!\*Type1 real1 mat1: placa acer  
!\*Type2 real2 mat2: TARGET FORM  
!\*Type3 real2 : CONTACT ACER-FORM  
!\*Type4 real3 mat3: TARGET SYMM  
!\*Type5 real3 : CONTACT ACER-SYMM  
!\*Type6 real6 : Ressort transversal LINK8

*! Acero:*

ET,1,SHELL181  
R,1,t  
MP,EX,1,2.03428E5  
MP,NUXY,1,.28  
TB,MISO,1,1,7  
TBTEMP,0  
TBPT,,.0013125,267  
TBPT,,.001673,308  
TBPT,,.002307,350  
TBPT,,.003,370  
TBPT,,.004,374  
TBPT,,.0075,380  
TBPT,,.1,380

*! Contactos acero-hormigón:*

MP,MU,2,freg  
ET,2,TARGE170,,1,



ET,3,CONTA174,,,,,1,,,,1,,,  
 R,2,,,1.0,0.1,0,  
 RMORE,,,1.0E20,0.0,1.0,  
 RMORE,0.0,0,1.0,,1.0,0.5  
 RMORE,0,0.5,fact,df,

*! Contactos acero-simetría:*

MP,MU,3,0  
 ET,4,TARGE170,,1,  
 ET,5,CONTA174,,,,,1,,,,1,,,  
 R,3,,,1.0,0.1,0,  
 RMORE,,,1.0E20,0.0,1.0,  
 RMORE,0.0,0,1.0,,1.0,0.5  
 RMORE,0,0.5,1.0,0.0,

*! Resorte transversal:*

ET,6,LINK8  
 R,6,1.875e-3,-.2, ,  
 MP,EX,3,2.0E5

*! Generación del perfil:*

k,1,,hp  
 ,2,b/2,hp  
 ,3,(a+b-a2)/2,0  
 ,4,l/2,0  
 l,1,2  
 ,2,3  
 ,3,4  
 LFILLT,1,2,r1, ,  
 LFILLT,2,3,r2, ,  
 k,,0,hp,s/6  
 l,1,9  
 ADRAG,1,2,3,4,5, ,6  
 !\*merge i compress  
 NUMM,kp



numc,kp  
 numc,line  
 numc,area

*! Generación de las embuticiones superiores:*

WPLANE,-1,0,HP,0,10,HP,0,0,HP,10

RECTNG,0,L1B/2,0,A1B/2,

wpoff,0,0,-P1

RECTNG,0,L1P/2,0,A1P/2,

ASBA, 1, 6

L, 18, 22

CYL4,L1P/2, ,A1P/2,0, ,90

wpoff,0,0,P1

CYL4,L1B/2, ,A1B/2,0, ,90

AADD,1,7

ASBA,8,6

L, 15, 17

L, 1, 24

AL,19,1,30,18

AL,22,6,18,21

numc,kp

numc,line

numc,area

CLOCAL,11,0,0,HP,S/6

ARSYM,Z,ALL, , ,21,1,0

NUMM,kp

numc,kp

numc,line

numc,area

AGEN,3,ALL, , , ,S/3, ,1

NUMM,kp

numc,kp

numc,line

numc,area



*! Generación embutición lateral:*

KWPLAN,-1, 6, 7, 11  
wpoff,h3-r1,s/2  
RECTNG,-a3b/2,a3b/2,-l3b/2,l3b/2,  
CYL4,,-L3b/2,A3b/2,0, ,-180  
CYL4,,L3b/2,A3b/2,0, ,180  
FLST,2,6,5,ORDE,6  
FITEM,2,3  
FITEM,2,11  
FITEM,2,19  
FITEM,2,27  
FITEM,2,35  
FITEM,2,43  
FLST,3,3,5,ORDE,2  
FITEM,3,49  
FITEM,3,-51  
ASBA,P51X,P51X, , ,  
wpoff,0,0,-P3  
RECTNG,-a3p/2,a3p/2,-l3p/2,l3p/2,  
CYL4,,-L3p/2,A3p/2,0, ,-180  
CYL4,,L3p/2,A3p/2,0, ,180  
AADD,3,11,19  
L, 88, 99  
L, 87, 100  
L, 85, 91  
L, 86, 93  
FLST,2,3,4,ORDE,2  
FITEM,2,157  
FITEM,2,-159  
LCOMB,P51X, ,0  
FLST,2,3,4,ORDE,2  
FITEM,2,154  
FITEM,2,-156  
LCOMB,P51X, ,0



AL,11,157,56,132

AL,56,153,149,145,141,126,34

AL,95,138,143,147,151,11,73

AL,126,154,95,131

*! Generación embutición inferior:*

WPLANE,-1,(a+b)/2,-d2e/2+p2,s/2,(a+b)/2+10,-d2e/2+p2,s/2,(a+b)/2,-d2e/2+p2,s/2+10

SPH4, , ,d2e/2

aplo

!FLST,2,8,5,ORDE,8

!FITEM,2,5

!FITEM,2,13

!FITEM,2,21

!FITEM,2,29

!FITEM,2,37

!FITEM,2,43

!FITEM,2,45

!FITEM,2,49

AOVLAP,5,13,21,29,37,43,45,49

VDELE,1, , ,1

ADELE,64,65, ,1

ADELE,50,51, ,1

L, 20, 15

L, 28, 33

L, 33, 44

L, 54, 57

L, 57, 67

L, 77, 80

FLST,2,6,5,ORDE,6

FITEM,2,8

FITEM,2,16

FITEM,2,24

FITEM,2,32

FITEM,2,40



FITEM,2,48  
FLST,3,6,4,ORDE,4  
FITEM,3,60  
FITEM,3,127  
FITEM,3,-130  
FITEM,3,133  
ASBL,P51X,P51X  
numc,kp  
numc,line  
numc,area  
WPLANE,-1,0,HP/2,0,10,HP/2,0,0,HP/2,10  
ASBW,ALL  
WPLANE,-1,af/2,0,0,af/2,0,10,af/2,10,0  
ASBW,ALL

*! Generación de la malla:*

FLST,2,4,4,ORDE,4  
FITEM,2,138  
FITEM,2,143  
FITEM,2,147  
FITEM,2,151  
LCCAT,P51X  
FLST,2,4,4,ORDE,4  
FITEM,2,141  
FITEM,2,145  
FITEM,2,149  
FITEM,2,153  
LCCAT,P51X  
ESIZE,2.5,0,  
MSHAPE,0,2D  
MSHKEY,1  
FLST,5,28,5,ORDE,26  
FITEM,5,2  
FITEM,5,6



FITEM,5,-7  
FITEM,5,9  
FITEM,5,13  
FITEM,5,-14  
FITEM,5,16  
FITEM,5,20  
FITEM,5,-21  
FITEM,5,23  
FITEM,5,27  
FITEM,5,-28  
FITEM,5,30  
FITEM,5,34  
FITEM,5,-35  
FITEM,5,37  
FITEM,5,41  
FITEM,5,-42  
FITEM,5,46  
FITEM,5,48  
FITEM,5,50  
FITEM,5,52  
FITEM,5,58  
FITEM,5,-59  
FITEM,5,62  
FITEM,5,-65  
ASEL, , , P51X  
AMESH,all  
MSHKEY,0  
FLST,5,12,5,ORDE,11  
FITEM,5,1  
FITEM,5,8  
FITEM,5,15  
FITEM,5,19  
FITEM,5,22  
FITEM,5,26





FITEM,5,29  
FITEM,5,36  
FITEM,5,38  
FITEM,5,43  
FITEM,5,-45  
ASEL, , , ,P51X  
AMESH,all  
ALLS  
ESIZE,2,0,  
MSHKEY,1  
AMES,10,17,7  
MSHKEY,0  
AMES,3  
,24  
,31  
MSHKEY,0  
esize,2.5  
AMESH,72,77,1  
MSHKEY,1  
esize,3  
AMESH,66,71,1  
FLST,5,6,5,ORDE,6  
FITEM,5,4  
FITEM,5,11  
FITEM,5,18  
FITEM,5,25  
FITEM,5,32  
FITEM,5,39  
ASEL, , , ,P51X  
AMESH,all  
ESIZE,2.5,0,  
MSHKEY,0  
FLST,5,4,5,ORDE,4  
FITEM,5,56



```
FITEM,5,-57
FITEM,5,82
FITEM,5,-83
ASEL,S,, ,P51X
AMESH,ALL
ALLS
ESIZE,3,0,
MSHKEY,0
AMESH,all
ALLS
!ENORM,1
numc,kp
numc,line
numc,area
numc,node
numc,elem
AREVERSE,3
,9
,15
,29
,52
,53
SAVE
FINI
/PREP7
```

*! Generación de las superficies de contacto:*

!\*Acero: 1-77

!\*Hormigón: 78-225

!\*Simetría: 226

AGEN,2,ALL, , , , , ,1

ASEL,S,AREA,,78,154

FLST,5,6,5,ORDE,5

FITEM,5,122



FITEM,5,126  
FITEM,5,-128  
FITEM,5,150  
FITEM,5,152  
ASEL,U, , ,P51X  
AGEN,2,ALL, , , ,S, ,1  
LSLA  
KSLL  
NUMM,kp  
numc,kp  
numc,line  
numc,area  
ALLS

*! Simetría:*

WPCSYS,-1,0  
wprot,0,90  
RECTNG,0,1/2,0,2\*s  
AREVERSE,226  
ALLS

*! Mallado del elemento hormigón:*

MAT,2  
REAL,2  
TYPE,2  
ASEL,S,AREA,,78,225  
FLST,5,24,4,ORDE,24  
FITEM,5,193  
FITEM,5,208  
FITEM,5,214  
FITEM,5,229  
FITEM,5,235  
FITEM,5,252  
FITEM,5,257



FITEM,5,269  
FITEM,5,275  
FITEM,5,285  
FITEM,5,290  
FITEM,5,300  
FITEM,5,377  
FITEM,5,390  
FITEM,5,395  
FITEM,5,410  
FITEM,5,416  
FITEM,5,432  
FITEM,5,437  
FITEM,5,449  
FITEM,5,455  
FITEM,5,465  
FITEM,5,470  
FITEM,5,480  
LSEL,S,,P51X  
LESIZE,ALL,,5,,,,,0  
FLST,5,4,4,ORDE,4  
FITEM,5,197  
FITEM,5,278  
FITEM,5,380  
FITEM,5,458  
LSEL,S,,P51X  
LESIZE,ALL,,11,,,,,0  
FLST,5,21,4,ORDE,21  
FITEM,5,194  
FITEM,5,196  
FITEM,5,199  
FITEM,5,215  
FITEM,5,237  
FITEM,5,258  
FITEM,5,260



FITEM,5,277  
FITEM,5,291  
FITEM,5,328  
FITEM,5,330  
FITEM,5,379  
FITEM,5,382  
FITEM,5,396  
FITEM,5,418  
FITEM,5,438  
FITEM,5,440  
FITEM,5,457  
FITEM,5,471  
FITEM,5,496  
FITEM,5,498  
LSEL,S,,P51X  
LESIZE,ALL,,4,,,,,0  
FLST,5,21,4,ORDE,21  
FITEM,5,198  
FITEM,5,200  
FITEM,5,201  
FITEM,5,203  
FITEM,5,221  
FITEM,5,223  
FITEM,5,238  
FITEM,5,245  
FITEM,5,261  
FITEM,5,280  
FITEM,5,294  
FITEM,5,381  
FITEM,5,383  
FITEM,5,385  
FITEM,5,402  
FITEM,5,404  
FITEM,5,419



FITEM,5,426  
FITEM,5,441  
FITEM,5,460  
FITEM,5,474  
LSEL,S,,P51X  
LESIZE,ALL,,3,,,,0  
FLST,5,4,4,ORDE,4  
FITEM,5,329  
FITEM,5,331  
FITEM,5,497  
FITEM,5,499  
LSEL,S,,P51X  
LESIZE,ALL,,10,,,,0  
!AADD,193,194,207,208  
!AADD,195,209  
!AADD,178,189,205,206  
!AADD,118,136,171,204  
!AADD,116,117,134,135  
!AADD,101,112,132,133  
!AADD,94,131  
ESIZE,20,  
AMES,ALL  
ALLS

*! "Pilot node":*

TSHAPE,PILOT  
KMESH,206

*! Mallado del contacto acero-hormigón:*

MAT,2  
REAL,2  
TYPE,3  
TSHAPE,QUAD  
ASEL,S,AREA,,1,77



ESLA  
ESURF  
ESURF,,REVERSE  
ALLS

*! Mallado del elemento simetría:*

MAT,3  
REAL,3  
TYPE,4  
ASEL,S,,226  
LSLA  
LESIZE,ALL,,1,,,,,0  
ALLS  
AMES,226  
TSHAPE,PILOT  
KMESH,313

*! Mallado del contacto acero-simetría:*

MAT,3  
REAL,3  
TYPE,5  
FLST,5,20,5,ORDE,13  
FITEM,5,4  
FITEM,5,10  
FITEM,5,16  
FITEM,5,23  
FITEM,5,30  
FITEM,5,36  
FITEM,5,43  
FITEM,5,45  
FITEM,5,47  
FITEM,5,49  
FITEM,5,-53  
FITEM,5,72



```
FITEM,5,-77
ASEL,s,,P51X
ESLA
ESURF
!ESURF,,REVERSE
ALLS
```

*! Resorte transversal:*

```
!*Línea 540
csys,0
KGEN,2,206,,,10,,,1
L, 206, 317
TYPE,6
REAL,6
ESIZE,10
LMESH,540
save
FINISH
/SOLU
```

*! Condiciones de simetría:*

```
ESEL,TYPE,1
NSLE
NSEL,R,LOC,X,0
DSYM,SYMM,X,0
ALLS
```

*! Encastamiento del nodo superior LINK8:*

```
DK,317,ALL,0
```

*! Encastamiento (excepto UZ) línea fijación conectores:*

```
ASEL,S,AREA,,1,77
LSLA
LSEL,R,LOC,X,L/2
```





```
DL,ALL,,ALL,0
DLDEL,ALL,UZ
ALLS
```

*! Fijación de los elementos de simetría i hormigón (“pilot nodes”):*

```
DK,313,ALL,0 !Simetria
DK,206,all,0 !Formigó
DKDEL,206,UY
```

*! Acoplamientos:*

```
ESEL,TYPE,1
NSLE,s,1
CM,acer,node
NSEL,S,LOC,Z,0
NSEL,A,LOC,Z,S
CMSE,R,acer
CPCYC,UY,0.0001,0,,,S,1
CPCYC,ROTX,0.0001,0,,,S,1
NSEL,U,LOC,X,0
CPCYC,UX,0.0001,0,,,S,1
CPCYC,ROTY,0.0001,0,,,S,1
CPCYC,ROTZ,0.0001,0,,,S,1
alls
NSEL,S,LOC,Z,0
NSEL,A,LOC,Z,S
CMSEL,R,acer
*GET,NM2,NODE,,num,min
CP,NEXT,UZ,ALL
alls
save
```

*! Cálculo:*

```
/solu
ANTYPE,STAT,NEW
```



```
SOLCONTROL,ON!,ON
RESCONTROL,DEFINE,NONE
NLGEOM,ON
NROPT,UNSY, ,OFF
PRED,ON
```

*! Paso 1: interacción inicial:*

```
TIME,1e-8
NSUBST,1
AUTOTS,OFF
NEQIT,100
!D,NM2,UZ,0
SOLVE
```

*! Paso 2: tracción pequeña:*

```
D,NM2,UZ,1e-4
TIME,1e-4
DELTIM,.0001
SOLVE
```

*! Paso 3: 0.05 mm, sólo guarda el último “substep” (paso automático):*

```
NEQIT,25
AUTOTS,ON
DELTIM,.01,.0000001,.2,ON
D,NM2,UZ,.05
TIME,.05
SOLVE
```

*! Paso 4: 2mm, guarda 19 “substeps” equidistantes:*

```
OUTRES,ALL,-19
D,NM2,UZ,2
TIME,2
SOLVE
```



*! Paso 5: 6mm, guarda 60 “substeps” equidistantes:*

OUTRES,ALL,-60

D,NM2,UZ,6

TIME,6

SOLVE

*! Paso 6: s mm, guarda 20 “substeps” equidistantes:*

OUTRES,ALL,-30

D,NM2,UZ,s

TIME,s

SOLVE

*! Postproceso:*

FINISH

/POST26

!FILE,'file','rst',''

!TIMERANGE,0,25

/YRANGE,0,50

/XRANGE,0,s

/AXLAB,X,Slip (mm)

/AXLAB,Y,Total Force (kN)

RFORCE,2,NM2,F,Z,

PROD,2,2, , ,QL0, , ,2\*2\*hf/s/1000,1,1,

alls

plvar,2

/OUTPUT,QL,lis

prvar,2

/output

