

# Diseño paramétrico de un ala con perfil NACA de 4 dígitos, flecha, diedro, torsión y estrechamiento en Catia V5 R19

Damián Patón Terrero

17 de febrero de 2014

## Índice

<b>1. Importar puntos del perfil mediante Microsoft Excel.</b>	<b>1</b>
<b>2. Uso de fórmulas y parámetros en Catia</b>	<b>6</b>
<b>3. Uso del módulo Knowledgeware</b>	<b>12</b>
<b>4. Uso de Matlab junto con el módulo Knowledgeware. Creación de un perfil NACA simétrico.</b>	<b>14</b>
<b>5. Parametrización de un perfil cualquiera de la familia NACA de 4 dígitos.</b>	<b>19</b>
<b>6. Parametrización de un ala con perfil NACA de 4 dígitos, flecha, diedro, torsión y estrechamiento.</b>	<b>24</b>

## 1. Importar puntos del perfil mediante Microsoft Excel.

Lo primero que necesitaremos será importar los puntos del perfil a “Catia”. Para no hacerlo manualmente podemos seguir el siguiente procedimiento:

- Ir a la siguiente dirección: “C:\Program Files (x86)\Dassault Systemes\B19\intel\_a\code\command” (o similar según la dirección de la instalación) y buscar y copiar en otra dirección (por ejemplo el escritorio) el siguiente archivo: “GSD\_PointSplineLoftFromExcel.xls”. Este archivo permite insertar puntos, splines y superficies a “Catia”. Las columnas A, B y C se refieren a las coordenadas X, Y, Z del punto. Como se puede ver en la figura 1 hay 3 grupos de puntos, en nuestro caso con usar un grupo nos basta.

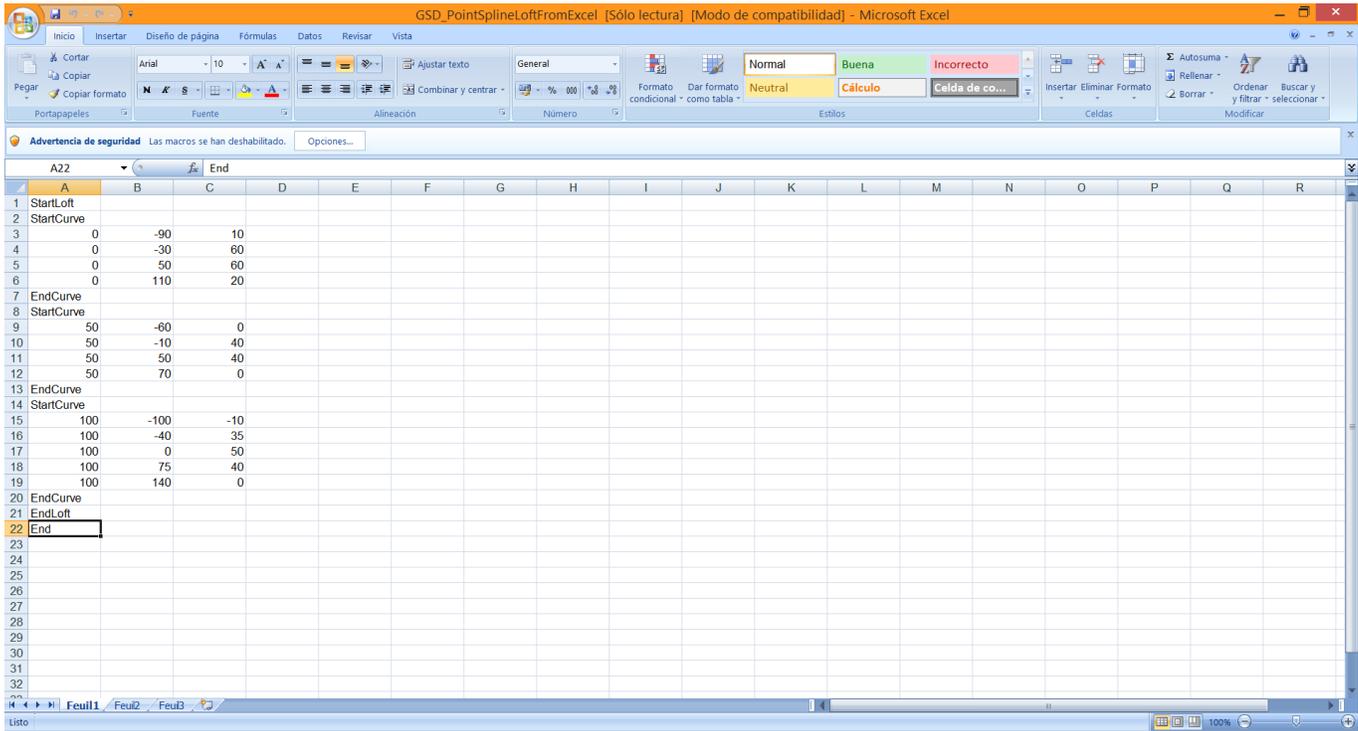


Figura 1: Archivo GSD\_PointSplineLoftFromExcel.xls.

- Debemos tener las macros activadas. En la figura 2 podemos ver como nos aparece una advertencia de seguridad, pulsamos opciones y habilitamos las macros.

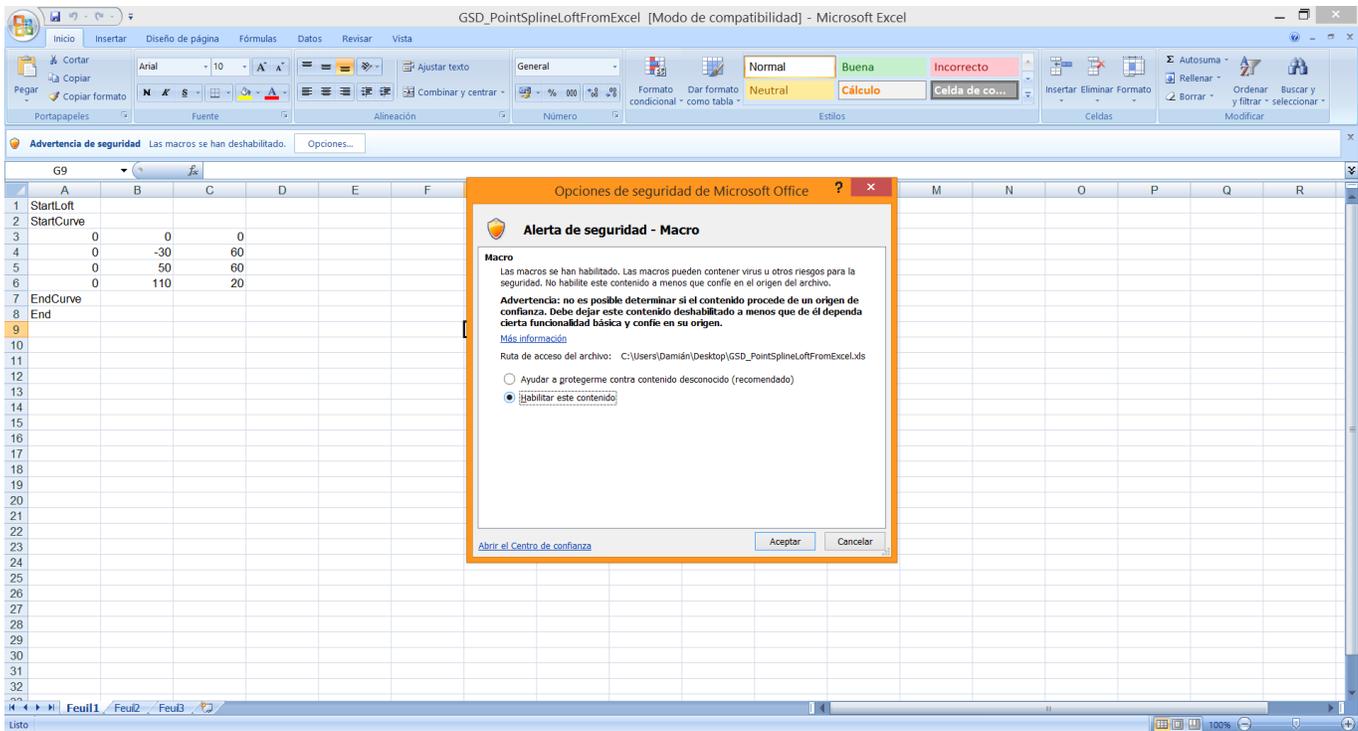


Figura 2: Habilitar Macros.

- Para encontrar los puntos de nuestro perfil podemos acceder a “http://www.airfoiltools.com” donde en la sección “NACA 4 digit airfoils” encontramos gran cantidad de perfiles. En la figura 3 podemos ver un ejemplo de perfil

de 4 dígitos. Pulsando en “selig format dat file” obtenemos una lista con las coordenadas adimensionalizadas con la cuerda, es decir, valores de 0 a 1. Esta lista la copiamos y pegamos en el fichero “Excel”.

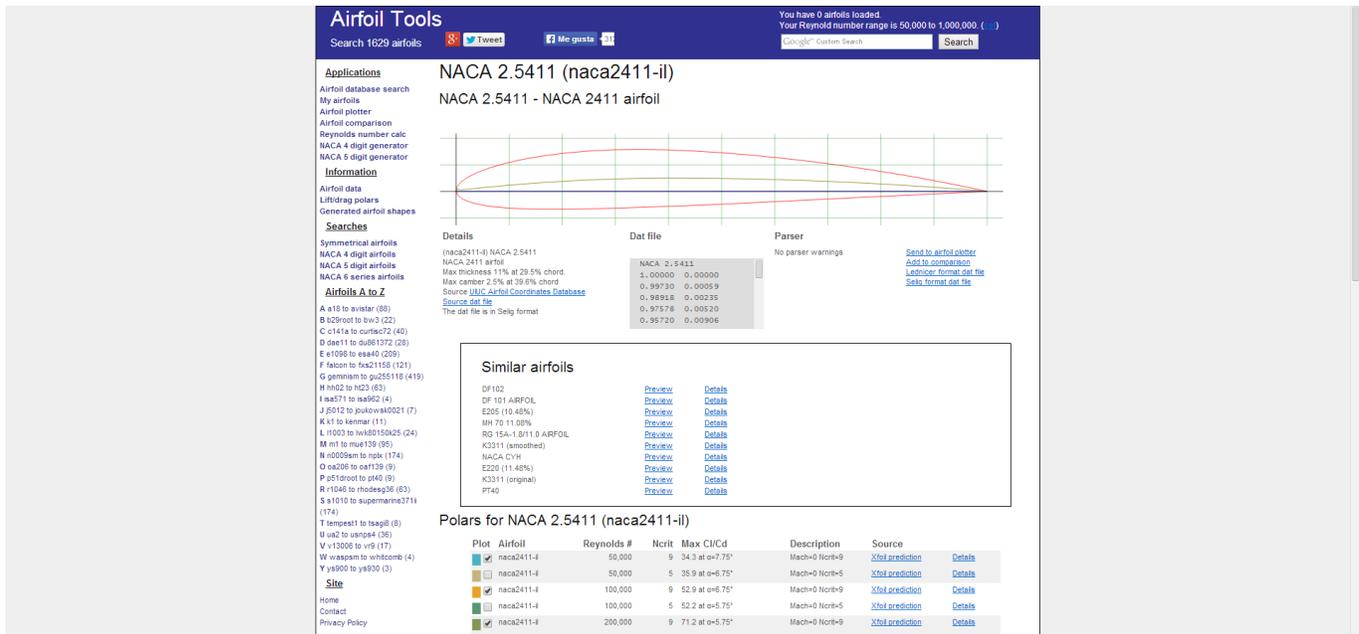


Figura 3: www.airfoiltools.com

- Como puede verse en la imagen 4 los puntos se pegan en una misma columna y necesitamos que cada coordenada se encuentre en una columna distinta. Para solucionar esto seleccionamos los datos de la primera columna y vamos a la pestaña de “Datos” en “Excel” y seleccionamos “Texto en columnas”. Nos aparecerá la ventana que aparece en la figura 5, le damos a siguiente y nos aparecerá la ventana de la figura 6, donde seleccionamos “Espacio” como tipo de separador y pulsamos finalizar. Completamos la columna C con ceros.

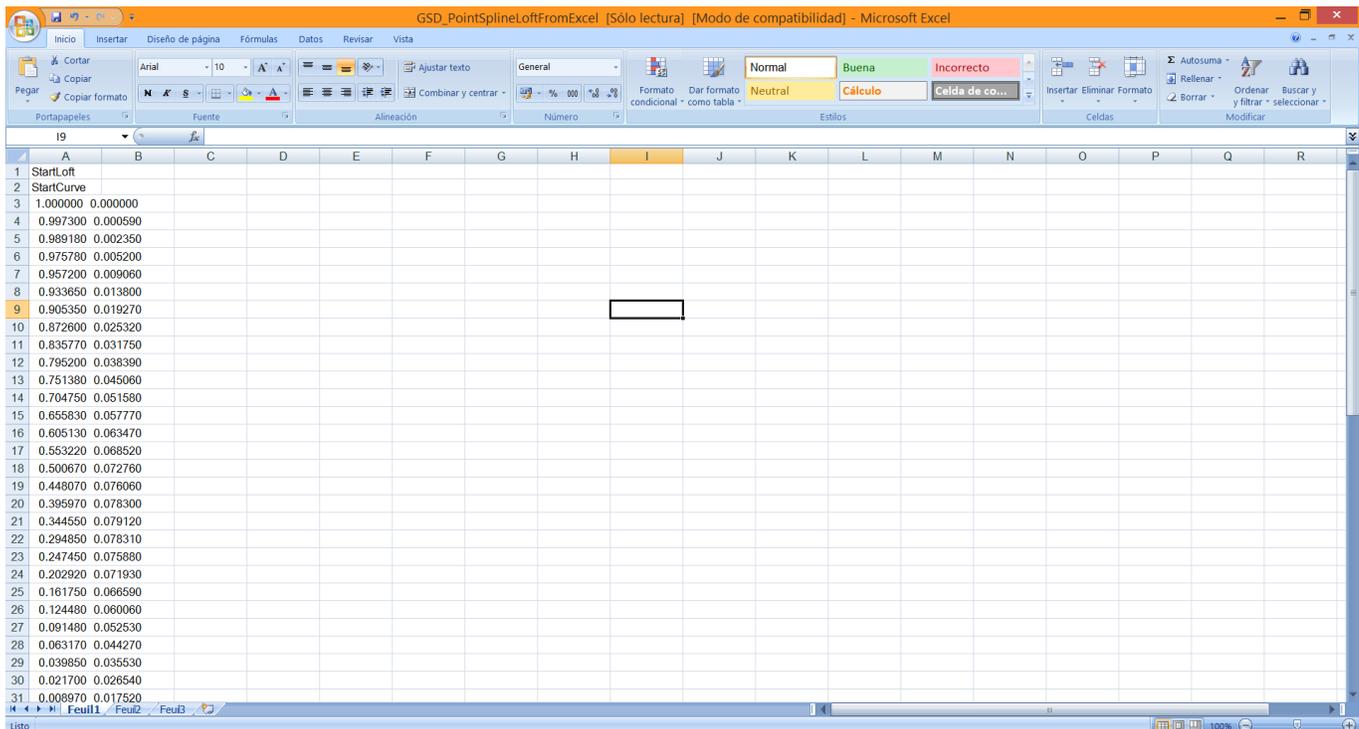


Figura 4: Puntos en fichero Excel.

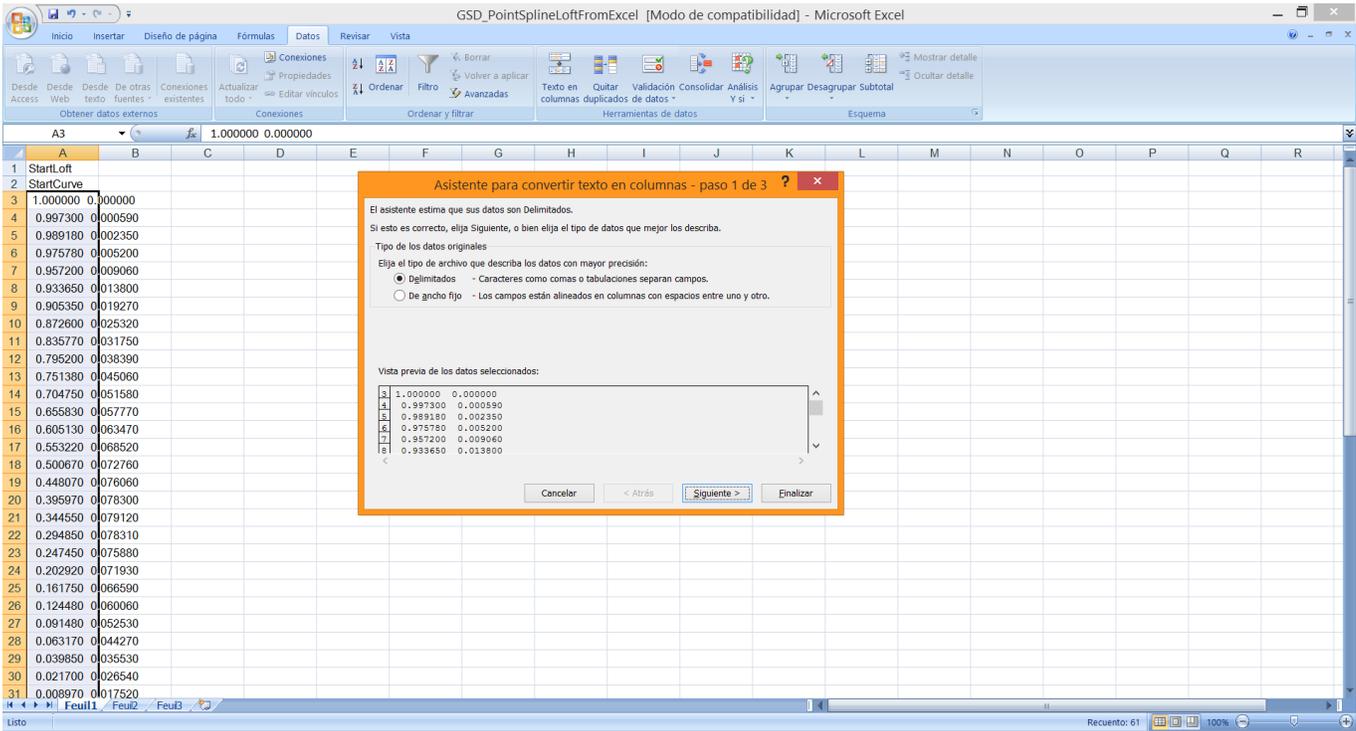


Figura 5: Texto en columnas1

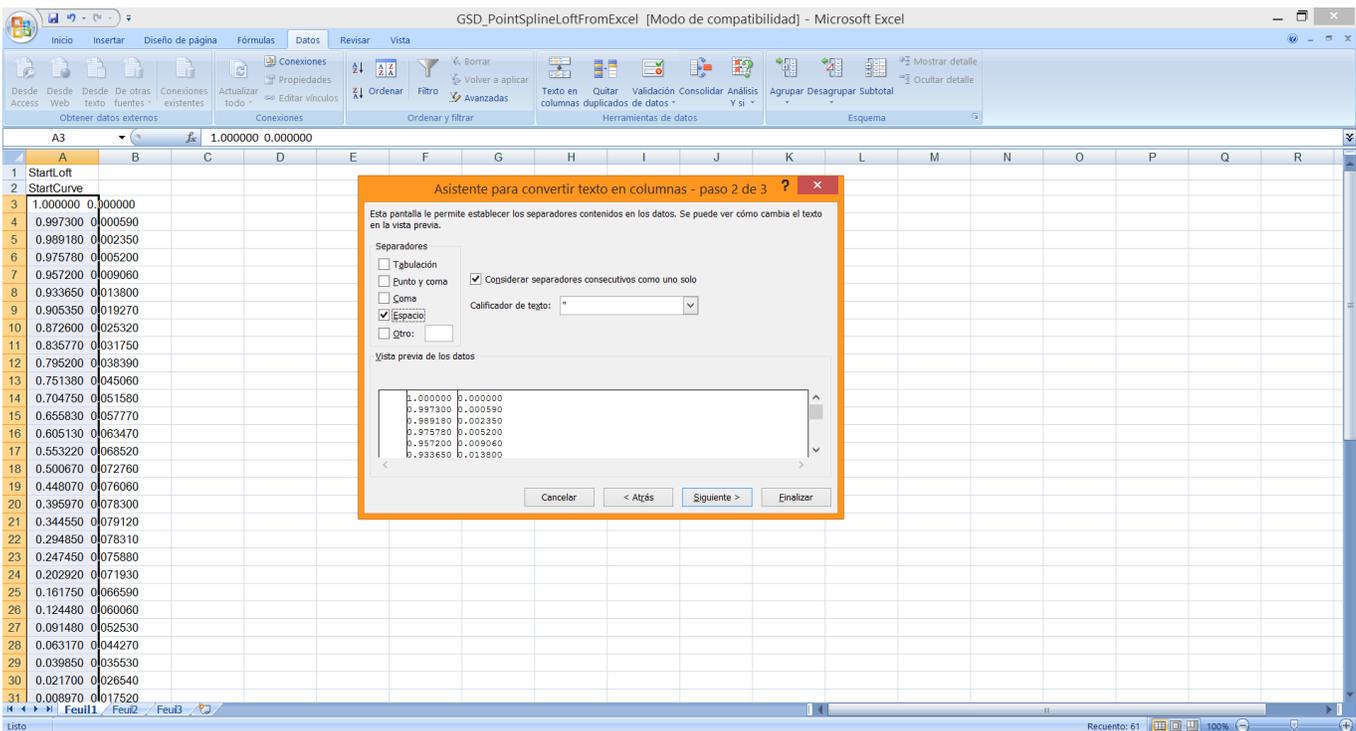


Figura 6: Texto en columnas 2

- Por último necesitamos cambiar los puntos por comas, ya que "Excel" tiene como separador decimal la coma. Para eso seleccionamos todos los puntos y en la pestaña "Inicio" de "Excel" marcamos la opción "Reemplazar" como puede verse en la figura 7. En la ventana que nos aparece, en "Buscar" introducimos un punto y en "Reemplazar con" introducimos una coma, como puede verse en la figura 8, pulsamos "Reemplazar todos" y todos los puntos serán sustituidos por comas.

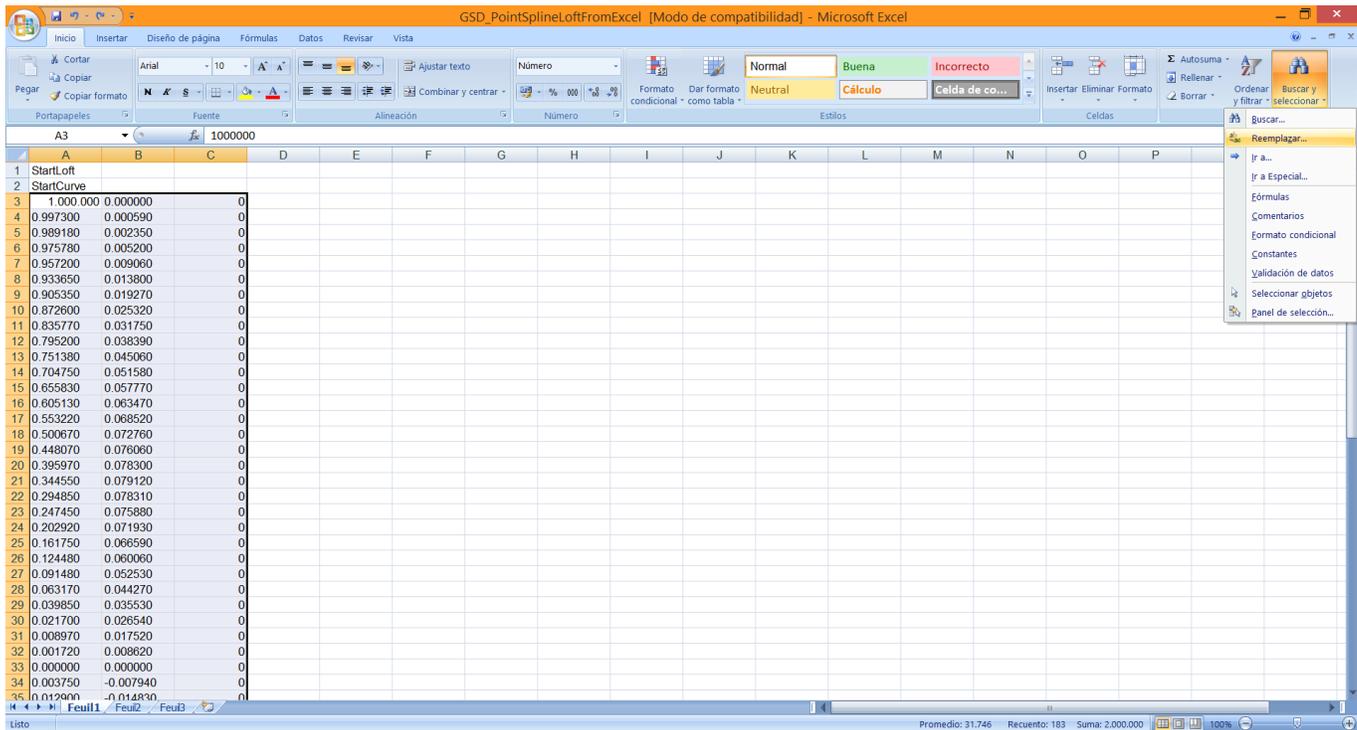


Figura 7: Reemplazar 1.

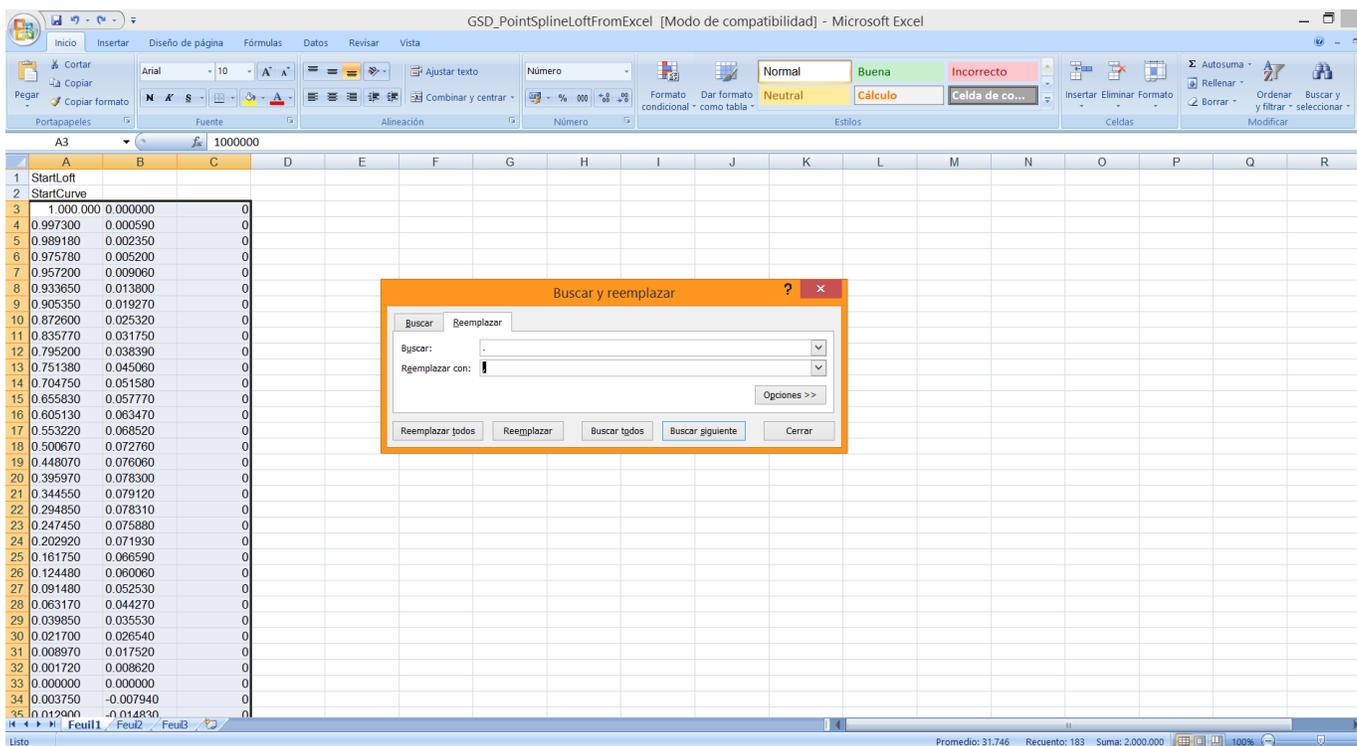


Figura 8: Reemplazar 2.

- Abrimos “Catia” y creamos un nuevo “Part”. Es importante que hagamos esto antes de seguir.
- Una vez tenemos los puntos en “Excel” y un nuevo “Part” de Catia abierto pulsamos Alt + F8. En la ventana emergente seleccionamos la opción “Feu11.Main” y pulsamos ejecutar. En la nueva ventana emergente podemos

introducir 1 para representar los puntos, 2 para los puntos y los splines y 3 para los puntos, los splines y las superficies. En nuestro caso introducimos 1 y pulsamos aceptar.

El resultado es una serie de puntos en el espacio en 3D, para pasarlos a un “sketch” que es donde se puede trabajar bien con ellos simplemente podemos crear un “sketch” y proyectar los puntos en el mismo. Una vez hecho esto en las opciones del “sketch” podemos marcar “Isolate” para desvincular este de los puntos importados y poder trabajar con el “sketch” que era lo que buscábamos. En la figura 9 podemos ver el resultado.

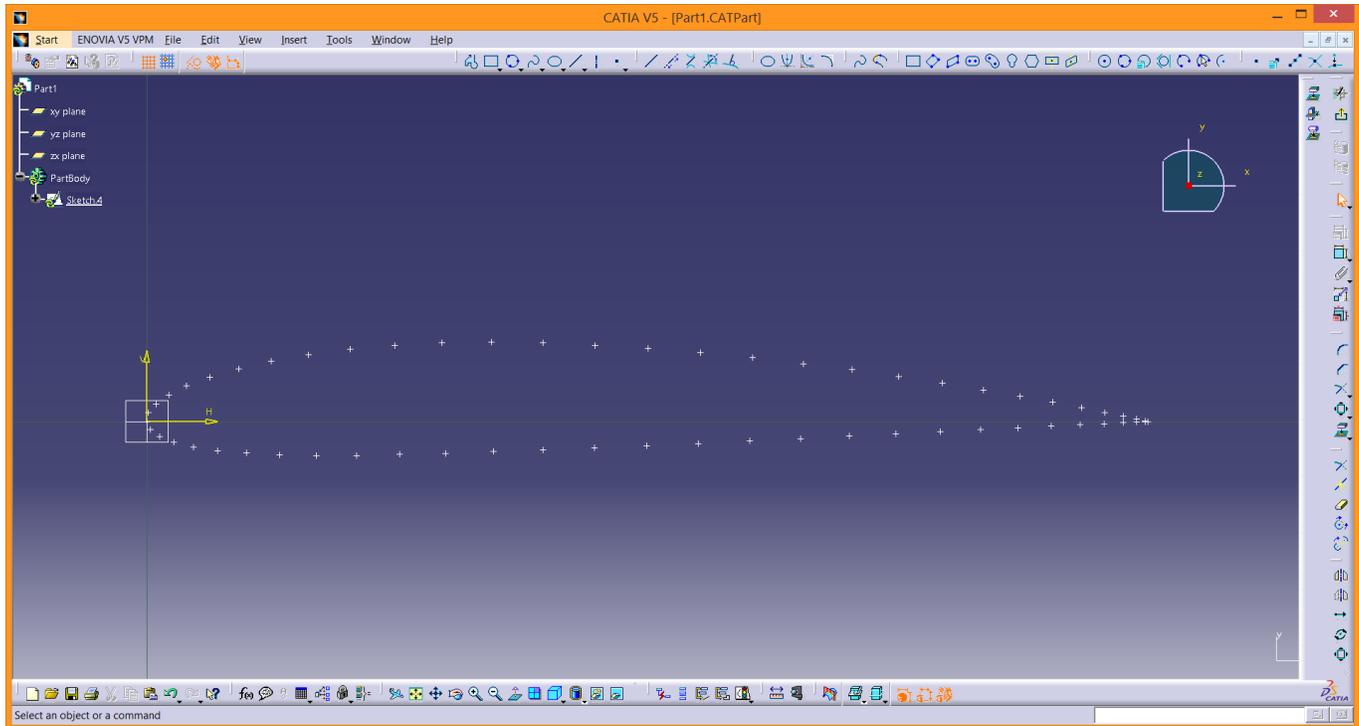


Figura 9: Puntos en sketch.

El archivo de “Excel” usado en este ejemplo está adjunto al documento.

## 2. Uso de fórmulas y parámetros en Catia

Los parámetros en “Catia” son una útil herramienta. Creando parámetros para las variables importantes y asociándolos a las “Constraint” podemos ahorrarnos mucho trabajo, ya que cualquier cambio puede introducirse en el diseño con sólo modificar dicho parámetro.

Lo primero que haremos será configurar “Catia” para que podamos visualizar y usar los parámetros:

- Dentro de “Catia” vamos a “Tools” y después a “Options”. En el menú de la izquierda desplegamos “Infrastructure” y seleccionamos “Product Structure”. Vamos a la pestaña “Tree Customization” y activamos los parámetros y las relaciones. Esto lo hacemos para poder mostrar parámetros dentro de un “Product” y no solo dentro de un “Part” ya que a veces hace falta parametrizar elementos que están fuera de un “Part” como por ejemplo una “Constraint” de un “Product”, aunque para este ejemplo no será necesario, a la hora de hacer un avión completo viene bien poder hacer este tipo de parametrizaciones. En la figura 10 podemos ver la configuración adecuada.

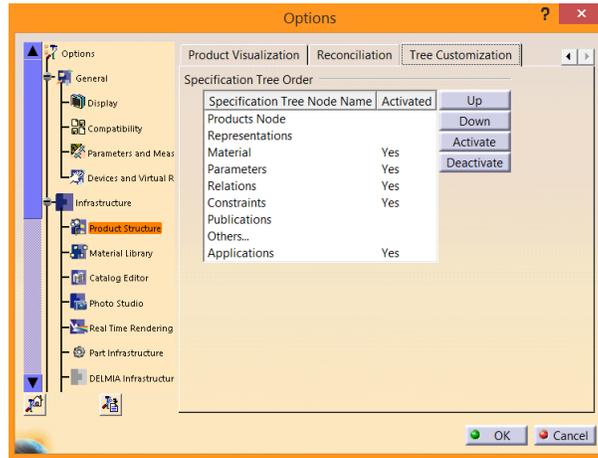


Figura 10: Configuración “Tree Customization”

- En la ventana de “Options” ahora seleccionamos “Part Infrastructure”. En la pestaña “General” nos aseguramos que esté marcada la opción “Show newly created external references”. Esto sirve para poder usar parámetros de un “Part” en otro “Part” distinto, los parámetros de este tipo aparecerán en el árbol como “External Parameters”. Para este ejemplo tampoco será necesario usar esta funcionalidad, pero al igual que antes, para el diseño de un avión completo resulta de gran utilidad. En la pestaña “Display” nos aseguramos que estén marcadas las opciones “External References”, “Parameters” y “Relations”. Esto se hace para poder ver los parámetros en la pantalla y así poder modificarlos, pero si queremos ver el valor actual y la fórmula que los definen tenemos que desplegar el menú “General” en la ventana “Options”, seleccionar “Parameters and Measure” y en la pestaña “Knowledge” nos aseguramos que estén marcadas las opciones “With value” y “With formula”. En las figuras 11 y 12 podemos ver la configuración adecuada.

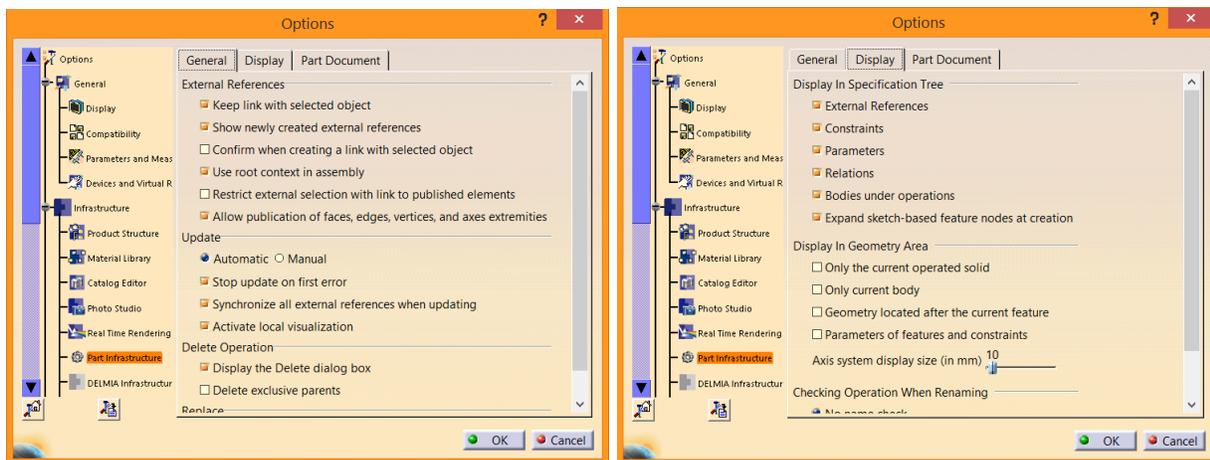


Figura 11: Configuración “Part Infrastructure”

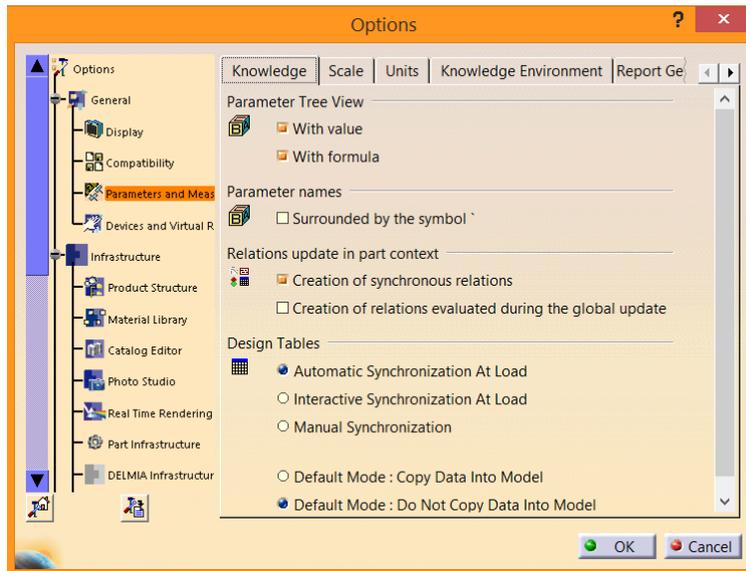


Figura 12: Configuración “Parameters and Measure”

Una vez tenemos configurado correctamente “Catia” vamos a hacer un pequeño ejemplo de cómo usar los parámetros con ayuda de las fórmulas.

- Creamos un nuevo “Part”.
- Pulsamos sobre el símbolo de “Formulas” que tiene la forma de una función  $f(x)$ . En la ventana emergente vamos a crear un nuevo parámetro, seleccionamos “Length”, “Single Value” y pulsamos “New Parameter of type”, una vez hecho esto le ponemos el nombre que queramos y pulsamos “Apply” y “OK”, es importante seguir este orden a la hora de crear un parámetro. En el árbol podemos ver que se ha creado una sección llamada “Parameters” donde se encontrarán los parámetros que creamos. En la figura 13 podemos ver la ventana de creación de parámetros.

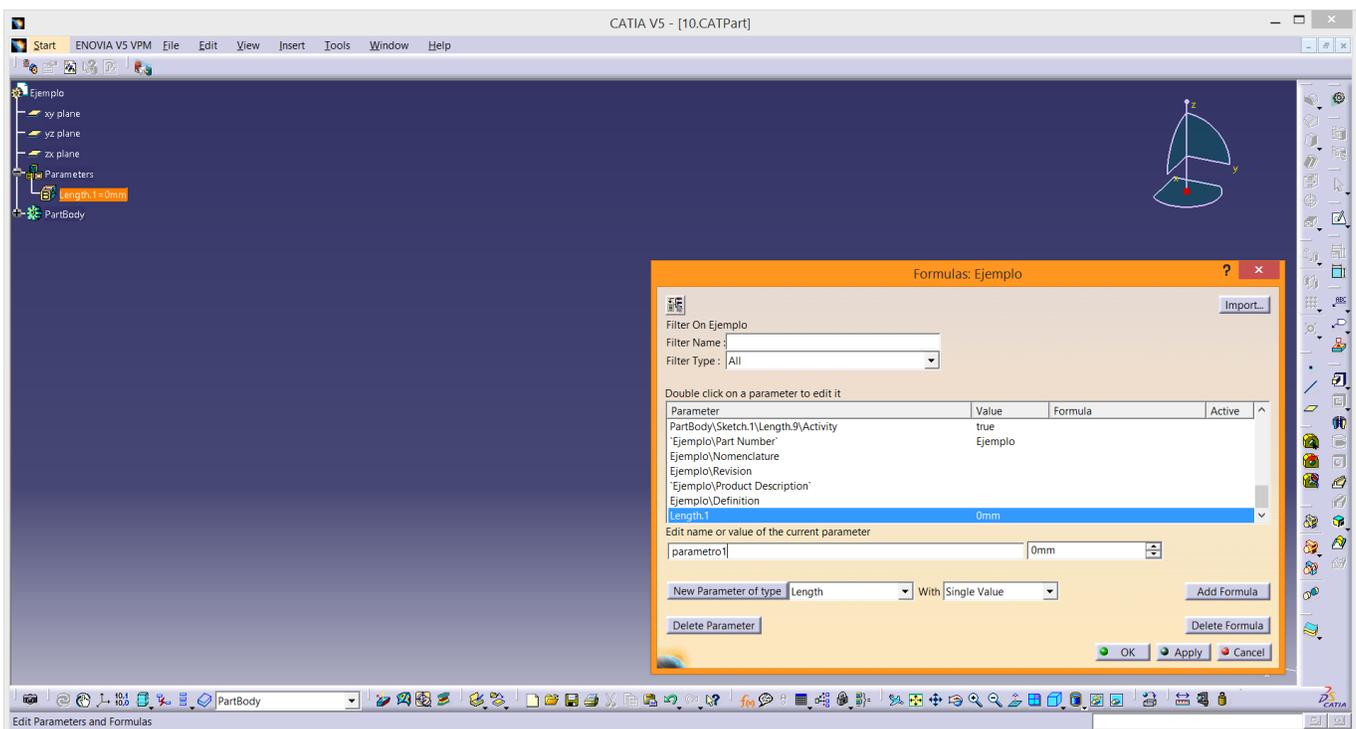


Figura 13: Creación de parámetros.

- Usaremos el parámetro en una “Constraint” de un “Sketch” para parametrizar un rectángulo. Creamos un “Sketch” y dibujamos un rectángulo, lo acotamos y asociamos el parámetro a una de las “Constraint”, esto se hace pulsando dos veces sobre ella, pulsando con el secundario sobre el valor y seleccionando “Edit formula”. En la figura 14 se puede ver como acceder a la opción “Edit formula”.

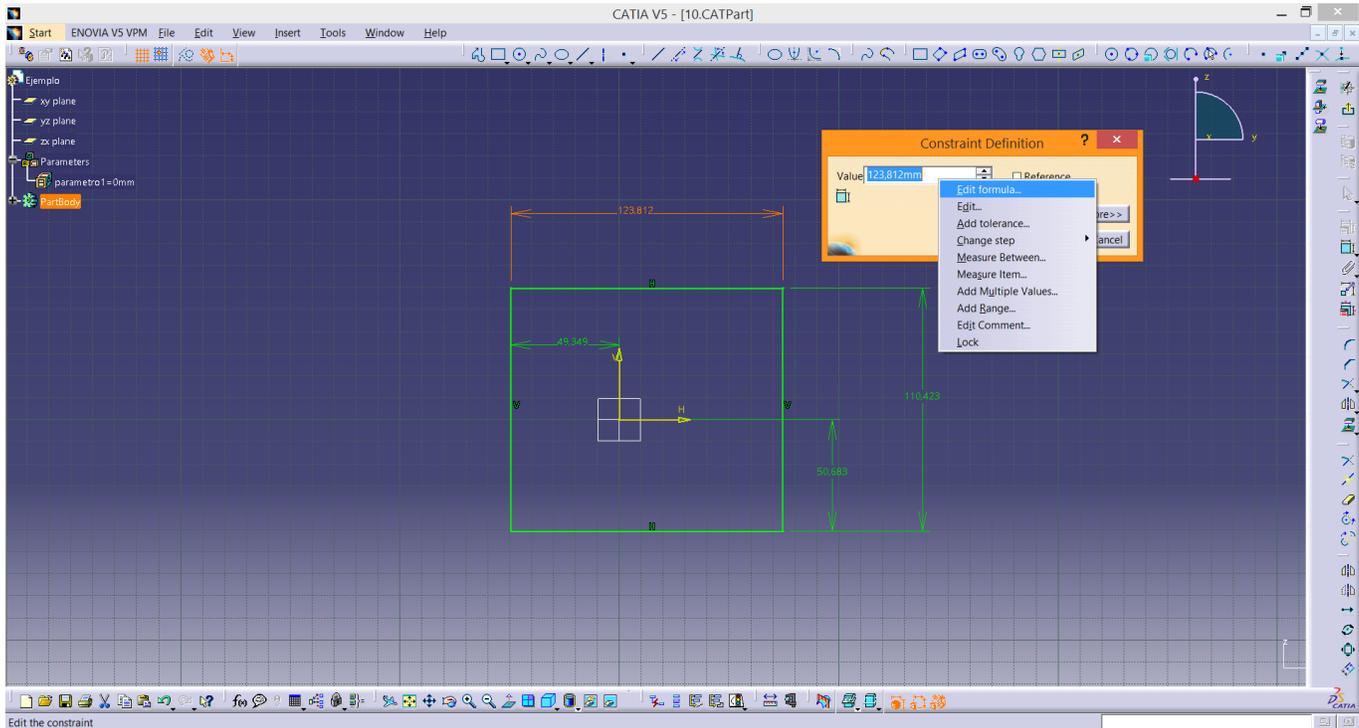


Figura 14: Editar fórmula asociada a una “Constraint”.

- En la ventana emergente podemos ver que aparece “PartBody\Sketch.1\Length.5\Length” y a continuación un igual y un cuadro en blanco. Esto quiere decir que la “Constraint” 5 del “Sketch” 1 del “PartBody” será igual a lo que nosotros introduzcamos en el recuadro en blanco. De este modo si pulsamos ahora sobre el parámetro del árbol o escribimos su nombre esta cota tomará el valor del parámetro. Vemos como en la cota aparece un símbolo que indica que la cota viene definida por una fórmula. En la figura 15 podemos ver la ventana donde podemos editar la fórmula que definirá la “Constraint”.

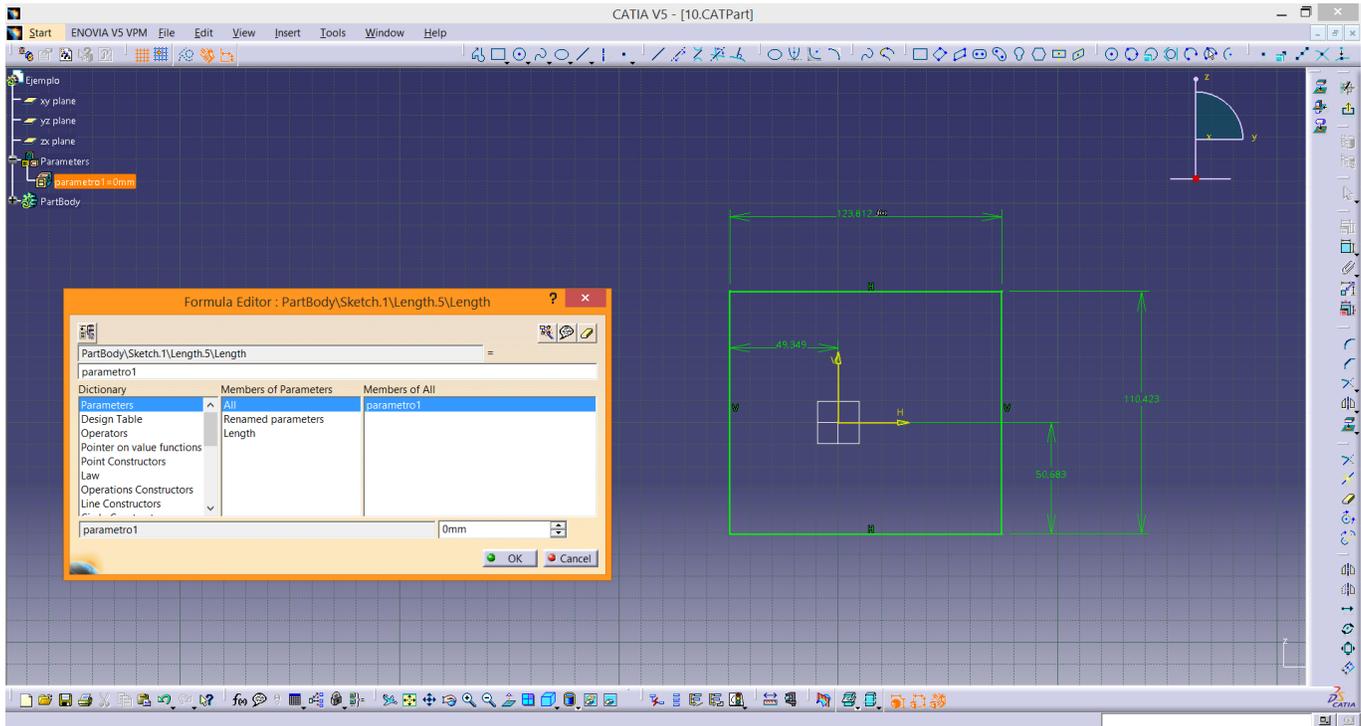


Figura 15: Asociación de un parámetro a una “Constraint”.

- Añadir una fórmula a una “Constraint” se puede usar de muchas formas, no solo usando parámetros. Por ejemplo, si queremos que el rectángulo esté centrado en el origen podemos editar las “Constraint” que lo ligan al origen definiendo una fórmula para ellas que sea la mitad del largo de los lados. Simplemente en el recuadro en blanco de la ventana de edición de la fórmula pulsamos sobre la “Constraint” que acota uno de los lados y la dividimos entre 2. De esta manera se pueden añadir fórmula de cualquier tipo para definir una cota. En la figura 16 se puede ver como se ha realizado este proceso. En la imagen, debajo de la sección de parámetros, en el árbol, podemos observar que se ha creado una nueva sección llamada “Relations” donde aparecerán todas las fórmulas que definamos.

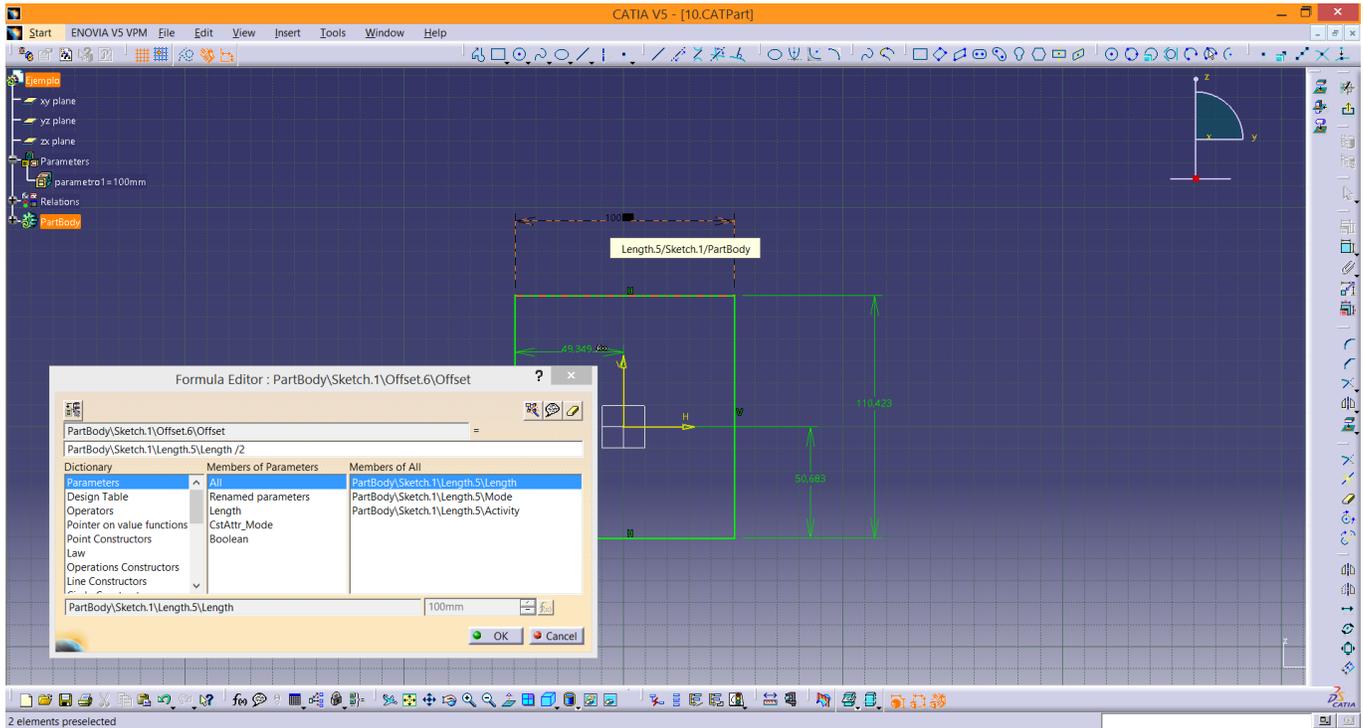


Figura 16: Edición de la fórmula que definirá la cota.

- Podemos hacer un “Pad” para ver como cambia la geometría según el valor del parámetro. En las figuras 17 y 18 podemos ver esta variación. Podemos apreciar que aunque cambiemos el valor del parámetro el “Pad” siempre está centrado en el origen de coordenadas como pretendíamos.

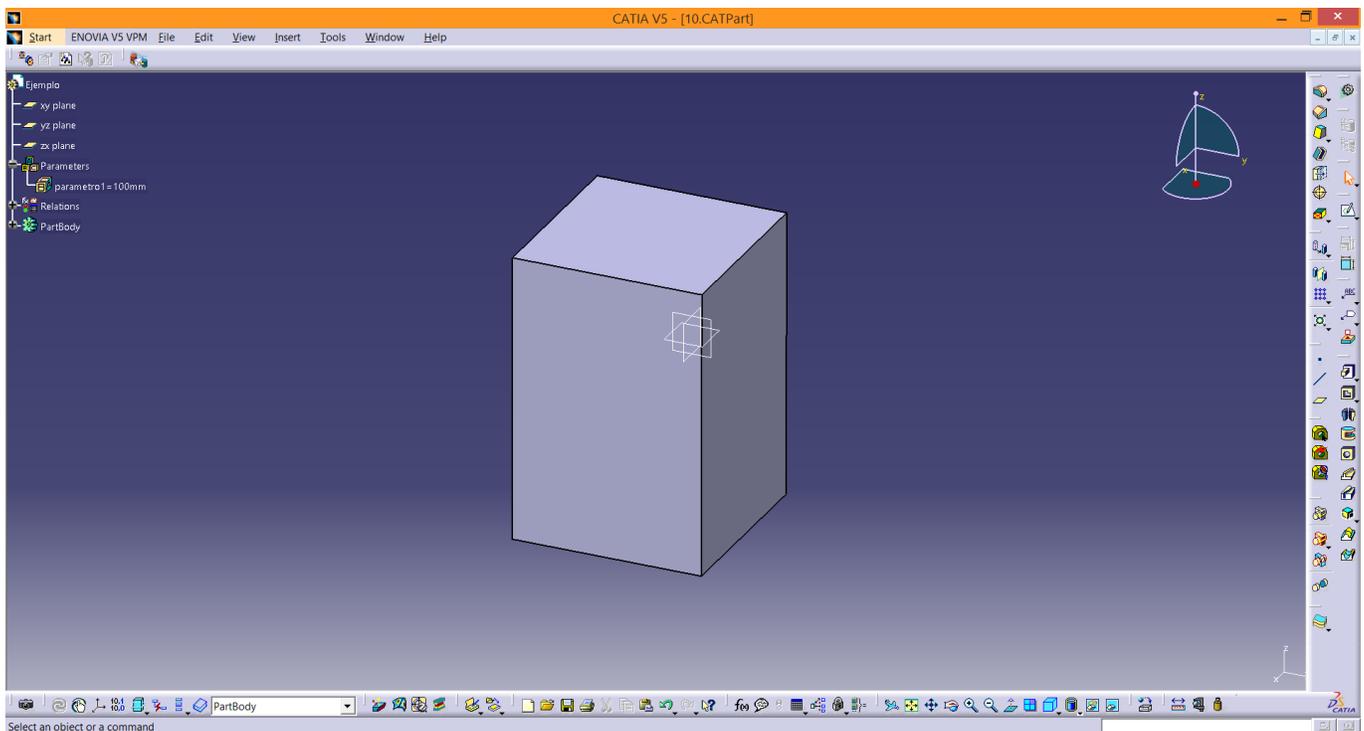


Figura 17: Valor de parametro1 100mm.

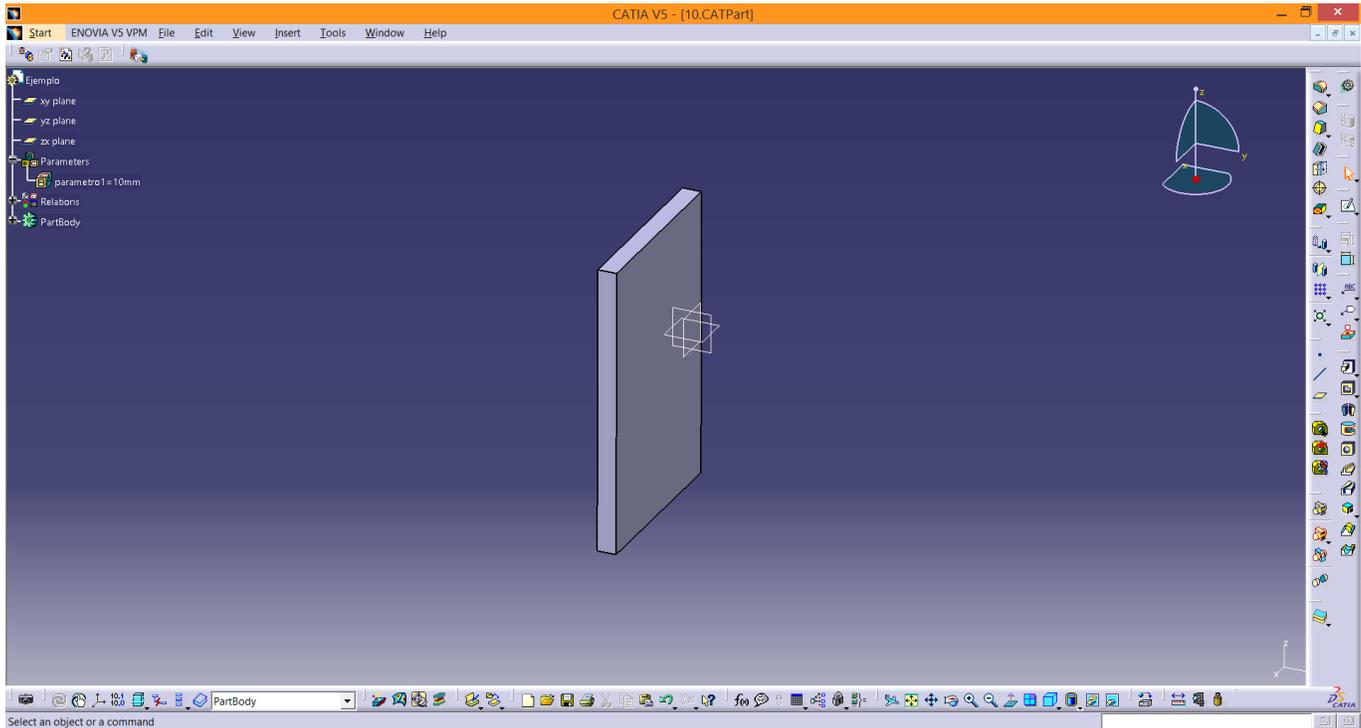


Figura 18: Valor de parametro1 10mm.

### 3. Uso del módulo Knowledgeware

Vamos a usar este módulo para crear una lógica sobre una geometría. Vamos a partir del ejemplo anterior, solo que vamos a añadirle un círculo al dibujo para que la figura aparezca con un agujero. Si el agujero tiene una geometría fija habrá valores del parámetro para los cuales se produzca un error. Por ejemplo, si el agujero lo creamos con un diámetro de 80 mm y nuestro parámetro (uno de los lados del rectángulo) toma un valor de 100 mm no habrá ningún problema. Sin embargo, si ahora cambiamos el valor del parámetro a 50 mm el agujero intersectará al rectángulo y “Catia” no podrá crear la geometría. Este es un caso muy simple, pero que sirve para ver la utilidad del módulo “Knowledgeware”. Lo que haremos para solucionar este problema será crear un algoritmo que establezca lo siguiente: si el largo del rectángulo es menor que el alto, entonces el radio del círculo es 0.8 veces el largo entre 2 y por el contrario si el alto es menor que el largo entonces, el radio es 0.8 veces el alto entre 2. Lo que estamos haciendo básicamente es que el diámetro del agujero sea el 80 % del menor de los lados, con esto nos aseguramos de que no se producirá una intersección en el “Sketch”. Esto se parece bastante a una lógica de programación del estilo if else y es precisamente lo que vamos a hacer mediante el módulo “Knowledgeware”.

- Partiendo del ejemplo anterior una vez hecho el círculo en el Sketch, en la barra de herramientas superior pulsamos “Start”, “Knowledgeware” y “Knowledge Advisor”.
- En la barra de la derecha pulsamos “Rule”. En la ventana emergente podemos cambiar el nombre que le vamos a asociar a la regla y posteriormente pulsamos “OK”.
- Nos aparece una nueva ventana en la que podremos introducir la programación que queramos. La línea que debemos introducir es la siguiente y depende del orden en el que se crearan las “Constraint”:

```
if PartBody|Pad.1|Sketch.1|Length.5|Length < PartBody|Pad.1|Sketch.1|Length.9|Length
PartBody|Pad.1|Sketch.1|Radius.10|Radius = (0.8*PartBody|Pad.1|Sketch.1|Length.5|Length)/2 else
PartBody|Pad.1|Sketch.1|Radius.10|Radius = (0.8*PartBody|Pad.1|Sketch.1|Length.9|Length)/2
```

Donde *PartBody|Pad.1|Sketch.1|Length.5|Length* es el largo del rectángulo, *PartBody|Pad.1|Sketch.1|Length.9|Length* es el alto y *PartBody|Pad.1|Sketch.1|Radius.10|Radius* es el radio de la circunferencia. Las cotas se pueden introducir en el cuadro de programación escribiendo su nombre o más fácilmente haciendo doble click sobre el “Sketch” y después sobre la cota que se quiera introducir. En la figura 19 podemos ver el cuadro de programación. Además podemos ver que la “Rule se añade al árbol dentro de la sección de “Relations”, haciendo click sobre ella dos veces podemos editarla cuando queramos.

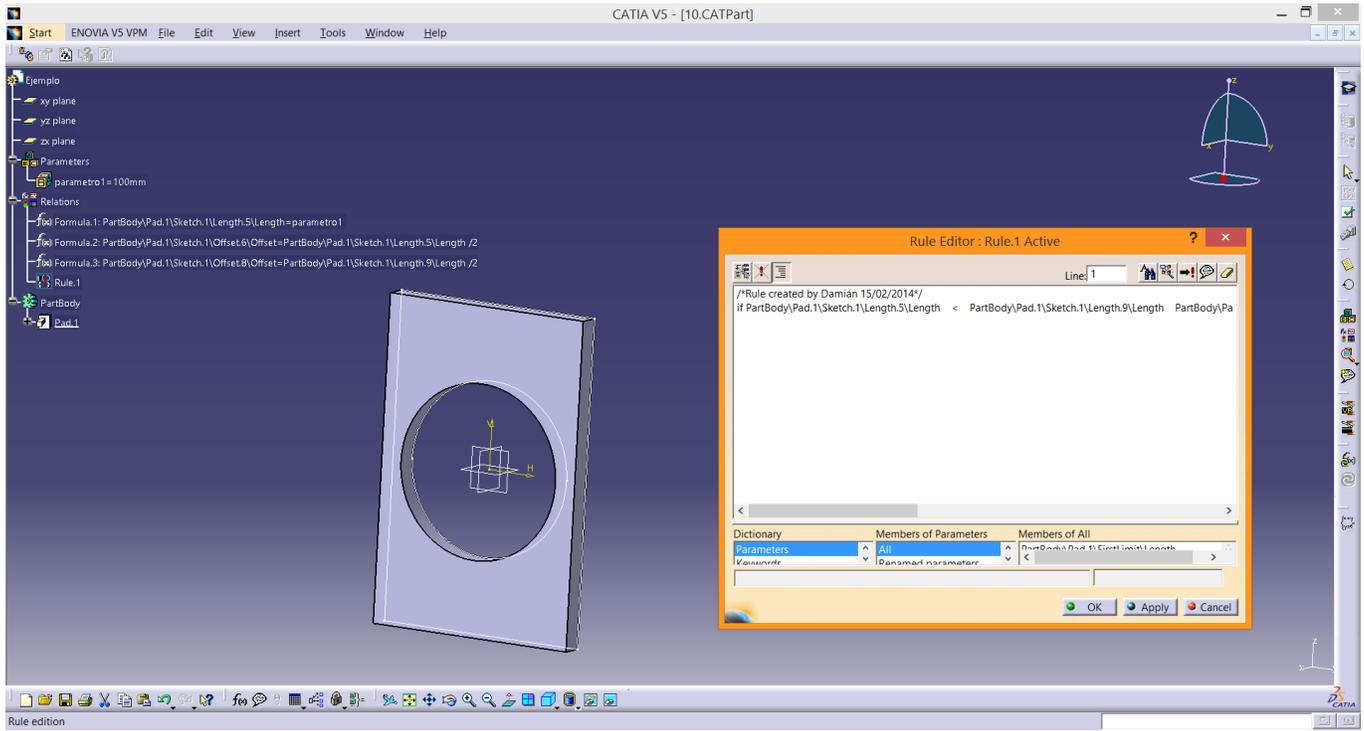


Figura 19: Editor de la "Rule".

Ahora podemos cambiar el valor del parámetro y ver como el agujero cambia para tener un diámetro igual al 80 % del menor de los lados, como puede verse en las figuras 20 y 21.

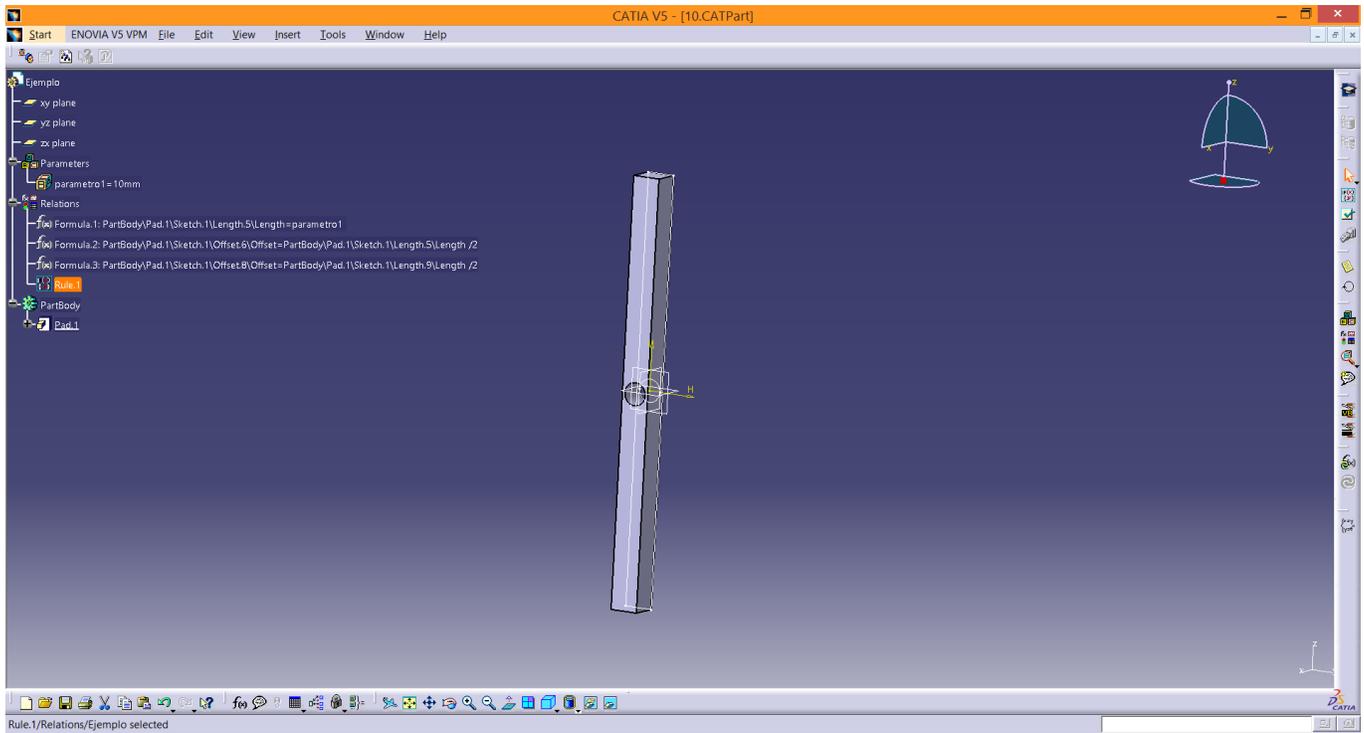


Figura 20: Representación para parametro1=10.

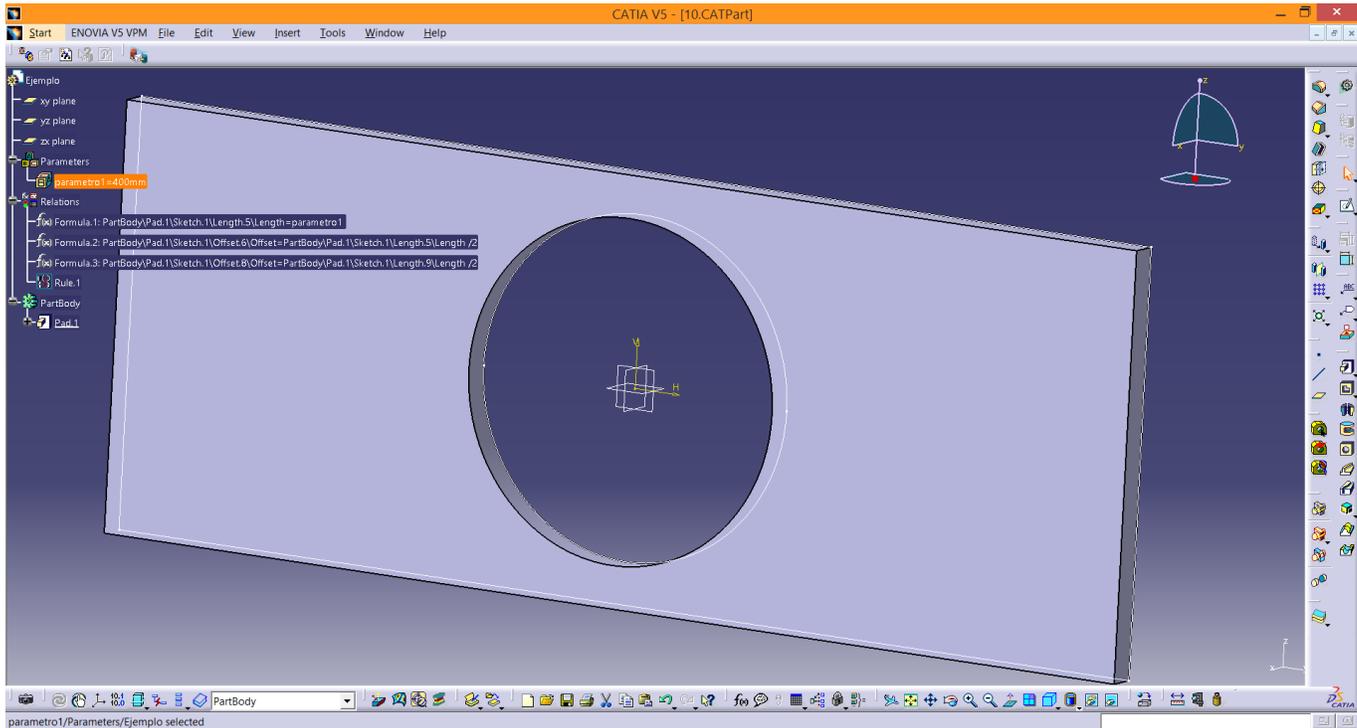


Figura 21: Representación para parametro1=400.

El archivo de “Catia” usado en los ejemplos de las secciones 2 y 3 está adjunto al documento.

#### 4. Uso de Matlab junto con el módulo Knowledgeware. Creación de un perfil NACA simétrico.

A la hora de crear un perfil en “Catia” tenemos que usar una gran cantidad de cotas, ya que cada punto del perfil tendrá dos cotas, una en longitud y otra en altura. Veamos un ejemplo. En el caso de un perfil simétrico, podemos introducir los puntos como vimos en la sección 1 de este documento, introduciremos solo la mitad del perfil y la otra mitad la crearemos mediante simetría (el punto del origen de coordenadas lo hemos eliminado de la lista, ya que usaremos el propio origen del “Sketch”). El primer paso que debemos realizar para parametrizar el perfil es acotar todos los puntos en longitud y altura y adimensionalizarlos con la cuerda y con el espesor respectivamente, de manera que cuando estos cambien, todos los puntos cambien. Esto se hace primero creando los parámetros cuerda y espesor y a continuación a cada una de las cotas de los puntos asociarles una fórmula (en función del punto) como puede verse en la figura 22. Esta fórmula no es más que la distancia a la que se encuentra el punto en el estado inicial, dividida por la cuerda en ese estado inicial y multiplicada por la cuerda que tendrá finalmente. Esto es para las cotas en longitud, para las cotas en altura la fórmula será la altura a la que se encuentra el punto en el estado inicial, dividida por el espesor en ese estado inicial y multiplicada por el espesor que tendrá finalmente.

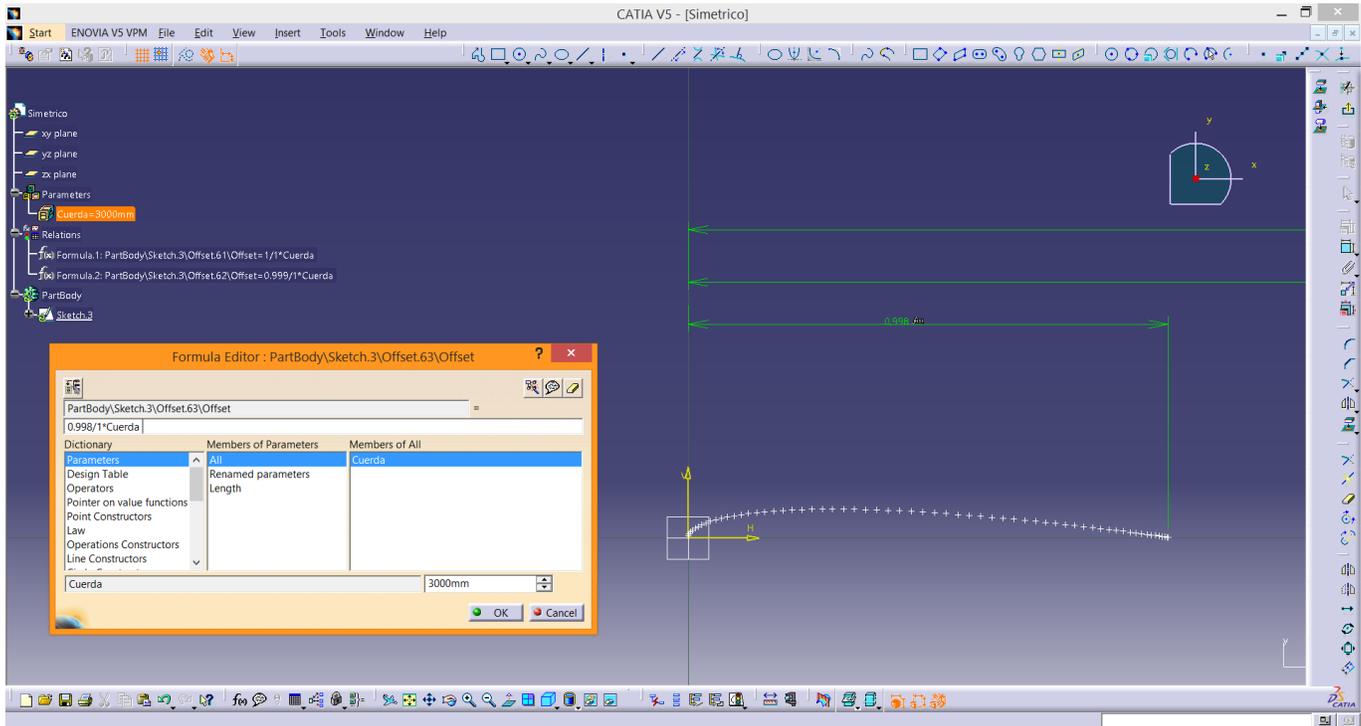


Figura 22: Adimensionalización del perfil con la cuerda.

Este proceso debemos hacerlo para todos los puntos del perfil lo que nos llevaría bastante tiempo. Para solucionar esto podemos crear una función en “Matlab” para que cree una serie de frases en las que el único cambio sería el número de la cota y estas frases pegarlas en el módulo “Knowledgeware” y así realizar este proceso de forma instantánea. Veamos el procedimiento:

- Creamos las cotas de todos los puntos del perfil. Es importante que se creen en el mismo orden en el que se recorren los puntos del perfil en los datos que hemos obtenido de la página “<http://www.airfoiltools.com>”, es decir, en sentido anti-horario desde el borde de salida. Para realizar esta tarea es aconsejable que se cree un acceso rápido en el teclado para la herramienta “Constraint” ya que se usará bastante. Esto puede hacerse en “Tools”, “Customize”, pestaña de “Commands”, abajo “All Commands”, buscamos a la derecha “Constraint” y pulsando “Show Properties” podemos asociarle una combinación de teclas. El resultado de crear todas las cotas puede verse en la figura 23.
- Vamos al módulo “Knowledge Advisor”, creamos una nueva regla y formamos la fórmula de la primera cota y la copiamos, como puede verse en la figura 23. Esto nos servirá de base para crear todas las frases que necesitamos.

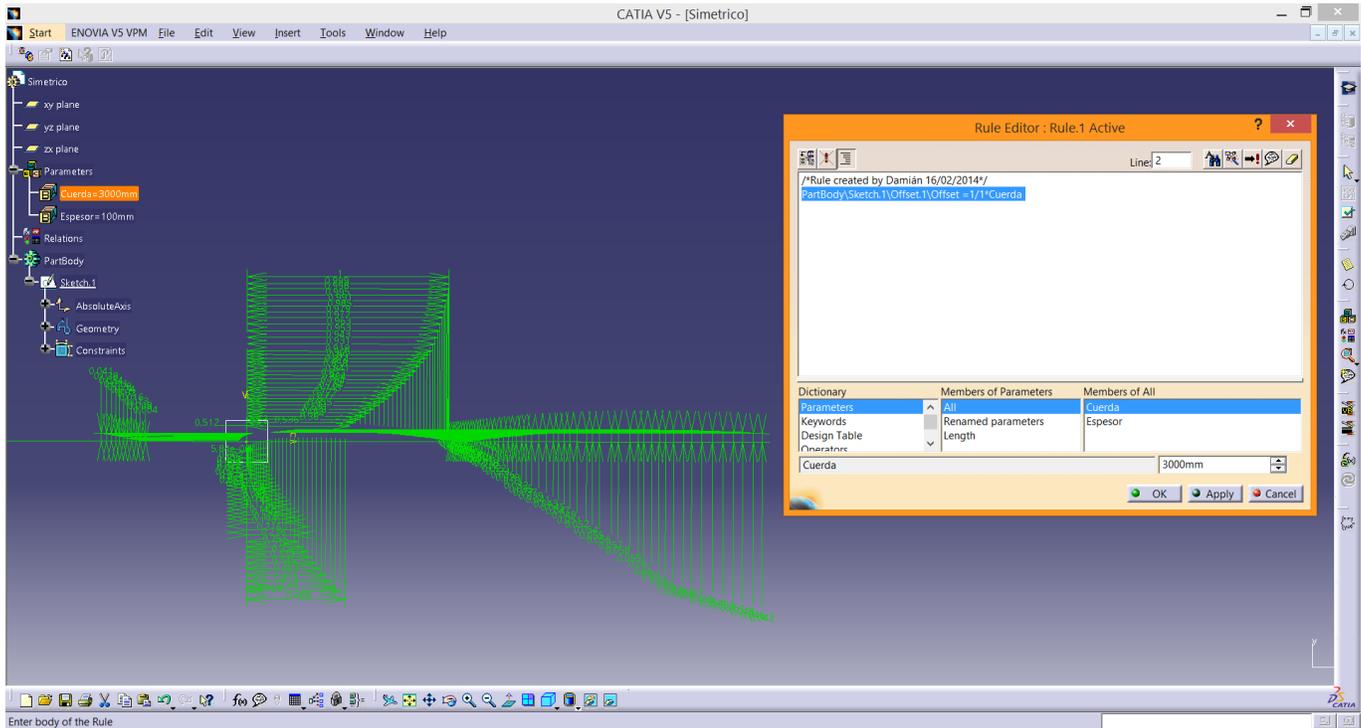


Figura 23: Acotación de todos los puntos y recuadro de nueva “Rule”

- Creamos una función en “Matlab” con el código de la figura 24, donde hemos pegado la frase anterior y la hemos transformado según viene explicado en dicho código, obteniendo como resultado una serie de frases, que no son más que las cotas en longitud de los puntos del perfil igualadas al valor correspondiente adimensionalizado con la cuerda en función de la coordenada en x que tenga. Esta lista puede verse en la figura 24. El código anterior hace uso de la variable perfilx que la hemos creado usando la opción “Import” de “Matlab”, seleccionando el archivo “GSD\_PointSplineLoftFromExcel.xls” donde ya teníamos los puntos. El código se realizó con la ayuda de José María Melendez López.

```

1 % Frase en cuestión
2 f1 = 'PartBody\Skech.1\Offset.numerocota\Offset = coordx/1*Cuerda';
3 %dejamos únicamente lo que será constante y ponemos nombre representativos
4 % lo que va a cambiar, en este caso el numero de la cota (numerocota) y la
5 %coordenada x del perfil (coordx)
6
7 % Arreglar caracteres conflictivos con fprintf
8 f2 = strrep(f1, '\', '\\'); % función que sustituye en f1 los \ por \\ ya
9 %que la función fprintf usa el comando \ para establecer propiedades como
10 %el salto de línea (\n)
11
12 % Sustituir en la cadena los elementos que van a variar por %1.0f o %1.4f
13 % (en función de si es una cota (0 decimales) o es una valor de la
14 %coordenada (4 decimales)) que es lo que la función fprintf cambiará por lo
15 %que sea necesario.
16 t1 = '%1.0f'; t2 = '%1.4f';
17 f3 = strrep(f2, 'numerocota', t1);
18 f4 = strrep(f3, 'coordx', t2);
19
20 % DATOS
21 % valores por los que deben ser sustituidos los valores por defecto
22 % anteriores
23
24 % el valor numerocota queremos que vaya desde 1 hasta el 65 que es el
25 %numero de la última cota que hemos colocado en catia
26
27 % el valor de las coordenadas en x esta en perfilx, esta recorrido en
28 % sentido antihorario desde el borde de salida.
29
30 %el orden de la numeración de las cotas debe coincidir con el orden en el
31 %que se recorre el perfil
32 numerocota=1:65; coordx=perfilx;
33
34 % Mostrar en pantalla
35 fprintf('\n\n')
36 for k = 1:length(coordx);
37     C = [numerocota(k), coordx(k)];
38     % vector que contiene los caracteres ordenados que se van a sustituir
39     %en la frase, primero se pondrá el numero de la cota que corresponda y
40     %luego el valor de la coordenada al que corresponde.
41     fprintf([ f4 , '\n' ], C )
42 end

```

```

Command Window
PartBody\Skech.1\Offset.23\Offset = 0.7490/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.24\Offset = 0.7216/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.25\Offset = 0.4997/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.26\Offset = 0.4773/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.27\Offset = 0.6545/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.28\Offset = 0.6314/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.29\Offset = 0.6079/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.30\Offset = 0.5842/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.31\Offset = 0.5603/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.32\Offset = 0.5362/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.33\Offset = 0.5121/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.34\Offset = 0.4879/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.35\Offset = 0.4638/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.36\Offset = 0.4397/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.37\Offset = 0.4158/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.38\Offset = 0.3921/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.39\Offset = 0.3686/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.40\Offset = 0.3455/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.41\Offset = 0.3227/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.42\Offset = 0.3003/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.43\Offset = 0.2784/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.44\Offset = 0.2570/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.45\Offset = 0.2362/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.46\Offset = 0.2160/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.47\Offset = 0.1964/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.48\Offset = 0.1776/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.49\Offset = 0.1595/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.50\Offset = 0.1422/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.51\Offset = 0.1257/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.52\Offset = 0.1102/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.53\Offset = 0.0959/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.54\Offset = 0.0818/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.55\Offset = 0.0690/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.56\Offset = 0.0573/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.57\Offset = 0.0466/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.58\Offset = 0.0369/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.59\Offset = 0.0283/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.60\Offset = 0.0209/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.61\Offset = 0.0145/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.62\Offset = 0.0093/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.63\Offset = 0.0052/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.64\Offset = 0.0023/1*Cuerda
PartBody\Skech.1\Offset.65\Offset = 0.0006/1*Cuerda

```

Figura 24: Código “Matlab” y resultado del mismo para las cotas en longitud.

- Una vez hecho esto, copiamos el resultado de “Matlab” y lo pegamos en el cuadro de programación de la “Rule” que estábamos creando y pulsamos “Apply” y “OK”, como puede verse en la figura 25.

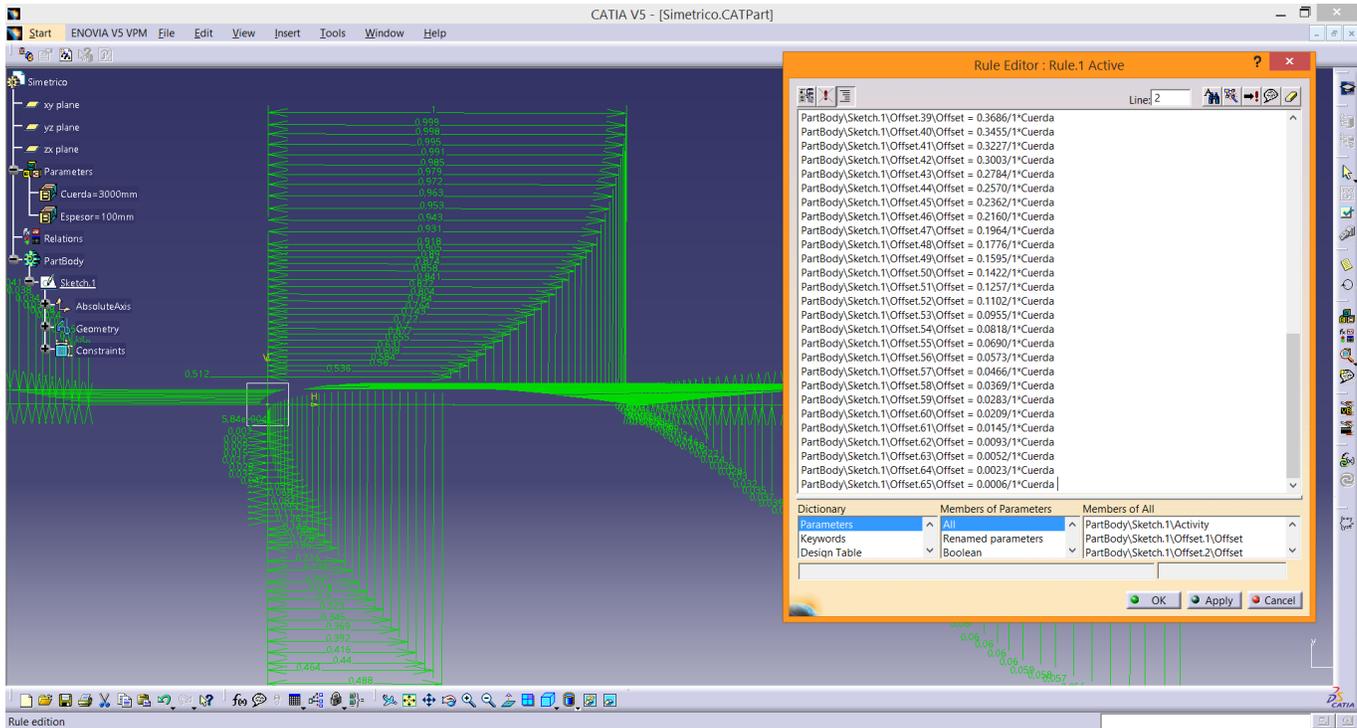


Figura 25: Código pegado en la nueva “Rule”

Realizamos este mismo proceso para las cotas en altura, los detalles se pueden ver en la figura 26. El resultado final para distintos valores de cuerda y espesor puede en las figuras 27 y 28.

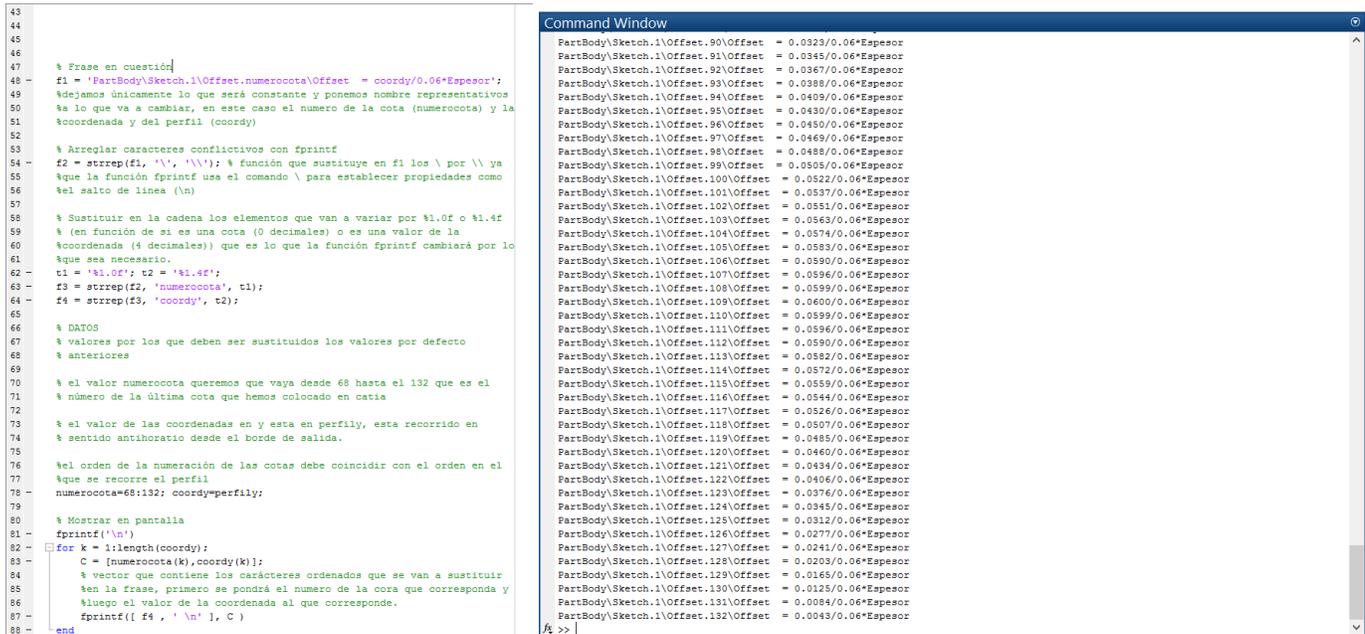


Figura 26: Código “Matlab” y resultado del mismo para las cotas en altitud.

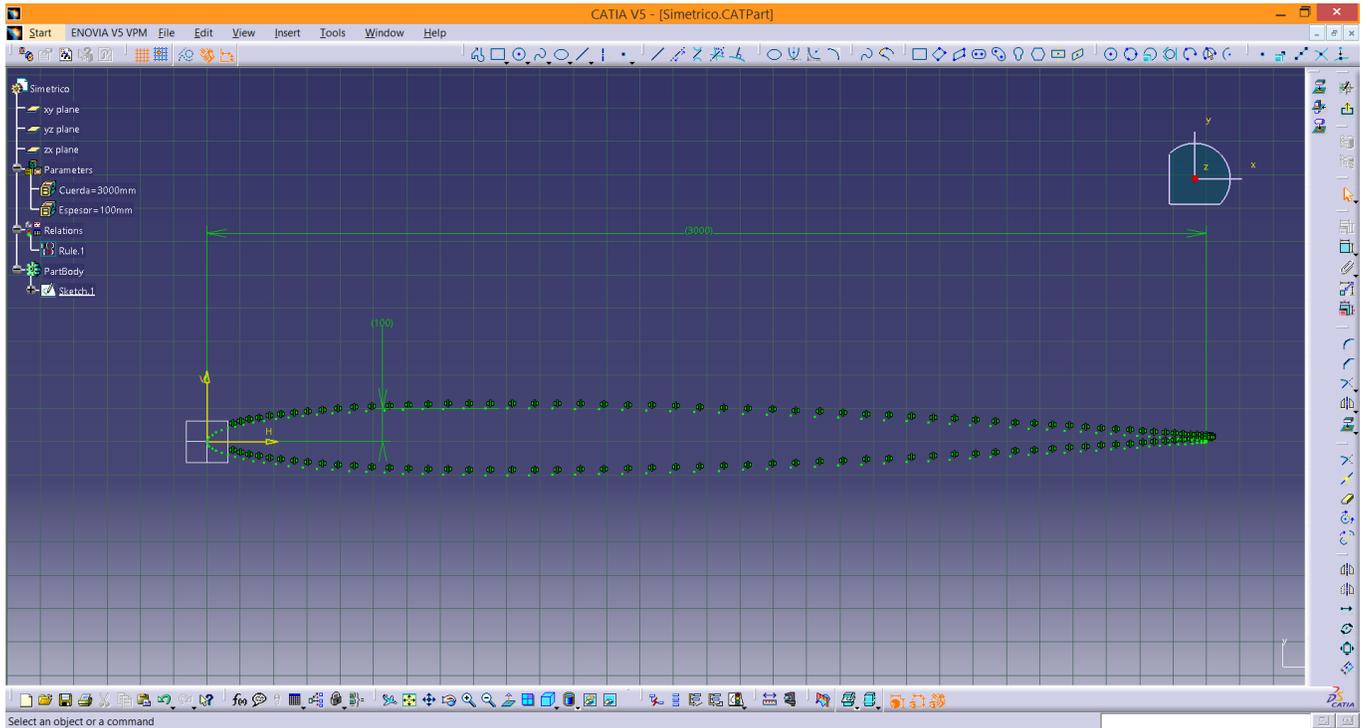


Figura 27: Resultado de la parametrización del perfil simétrico con Cuerda=3000mm y Espesor=100mm.

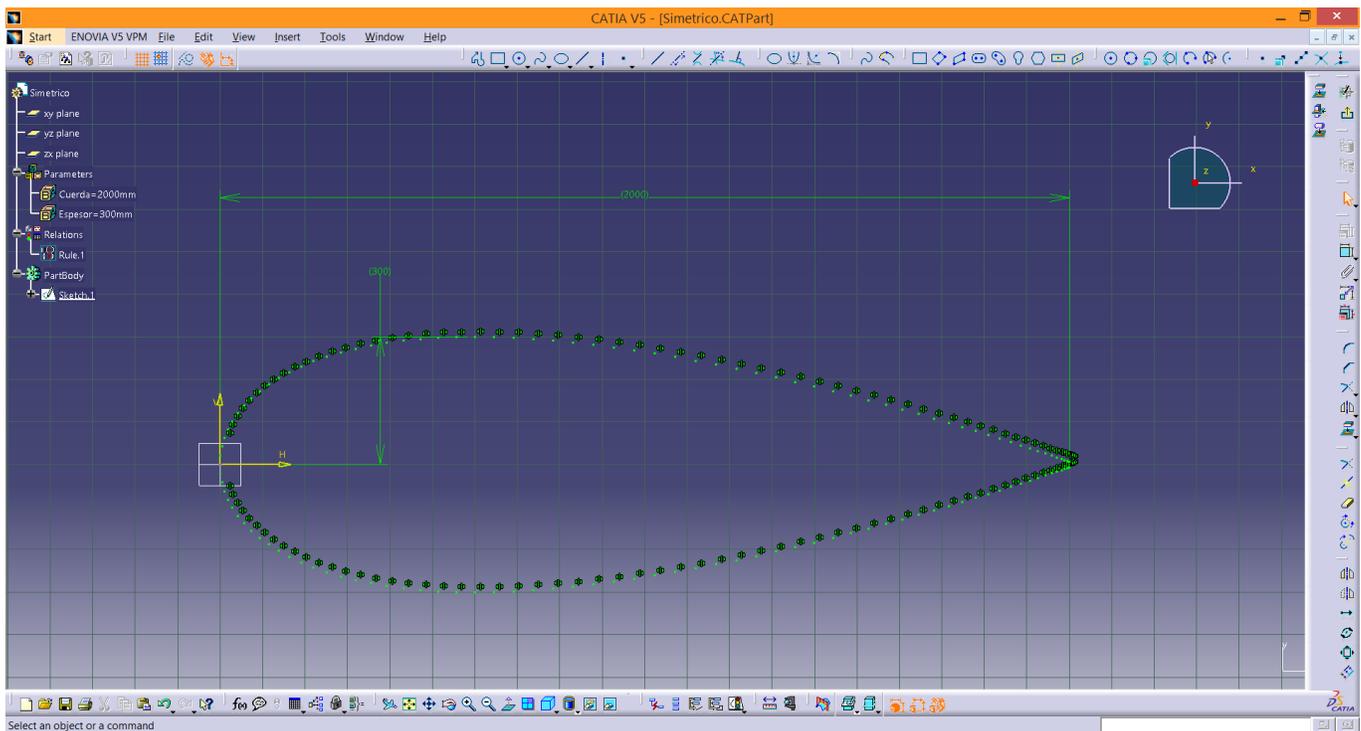


Figura 28: Resultado de la parametrización del perfil simétrico con Cuerda=2000mm y Espesor=300mm.

Nótese que estos perfiles no son ningún NACA simétrico en concreto, ya que hemos permitido que cambien de forma no proporcional el espesor y la cuerda. El caso de parametrizar un perfil NACA en función de sus dígitos (por ejemplo el NACA 0012 o 4412) lo veremos en la siguiente sección. Lo único que restaría para tener el perfil completo sería unir todos los puntos mediante un “Spline”.

Este proceso se puede hacer para cualquier perfil NACA aunque no sea simétrico. Siempre y cuando el perfil no

cambie, este procedimiento es muy útil. Sin embargo, si aun, en el diseño, no está elegido el perfil y se desea parametrizar cualquier perfil de una familia, ya no podemos seguir este procedimiento, si no que tenemos que incorporar en “Catia” las ecuaciones de la familia del perfil. En la siguiente sección vemos cómo.

Los códigos de “Matlab” y archivos de “Catia” usados en este ejemplo están adjuntos al documento.

## 5. Parametrización de un perfil cualquiera de la familia NACA de 4 dígitos.

Un perfil NACA de 4 dígitos está definido mediante las fórmulas 1 y 2.

$$x_U = x - y_t \text{sen}\theta, y_U = y_c + y_t \text{cos}\theta \quad (1)$$

$$x_L = x + y_t \text{sen}\theta, y_L = y_c - y_t \text{cos}\theta \quad (2)$$

Donde  $x_U$  es la posición en el eje horizontal de los puntos del perfil en el extradós,  $y_U$  es la posición en el eje vertical de los puntos del perfil en el extradós,  $x_L$  es la posición en el eje horizontal de los puntos del perfil en el intradós,  $y_L$  es la posición en el eje vertical de los puntos del perfil en el intradós,  $x$  es una variable independiente en la dirección del eje horizontal que va de 0 a la cuerda,  $y_t$  viene dado por la fórmula 3,  $\theta$  viene dado por la fórmula 5 y  $y_c$  viene dado por la fórmula 4.

$$y_t = \frac{t}{0,2} c \left[ 0,2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0,1260 \frac{x}{c} - 0,3516 \left( \frac{x}{c} \right)^2 + 0,2843 \left( \frac{x}{c} \right)^3 - 0,1015 \left( \frac{x}{c} \right)^4 \right], \quad (3)$$

donde  $t$  es igual a los dos últimos dígitos del perfil partidos por 100 y  $c$  es la cuerda.

$$y_c = \begin{cases} m \frac{x}{p^2} (2p - \frac{x}{c}) & 0 \leq x \leq pc \\ m \frac{c-x}{(1-p)^2} (1 + \frac{x}{c} - 2p) & pc \leq x \leq c \end{cases}, \quad (4)$$

donde  $m$  es el primer dígito partido por 100 y  $p$  es el segundo dígito partido por 10.

$$\theta = \arctan \left( \frac{dy_c}{dx} \right). \quad (5)$$

Por lo tanto las expresiones finales que definen el perfil NACA de 4 dígitos son:

$$x_U = \begin{cases} x - \frac{t}{0,2} c \left[ 0,2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0,1260 \frac{x}{c} - 0,3516 \left( \frac{x}{c} \right)^2 + 0,2843 \left( \frac{x}{c} \right)^3 - 0,1015 \left( \frac{x}{c} \right)^4 \right] \text{sen} \left[ \arctan \left( \frac{2m}{p^2} (p - \frac{x}{c}) \right) \right] & 0 \leq x \leq pc \\ x - \frac{t}{0,2} c \left[ 0,2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0,1260 \frac{x}{c} - 0,3516 \left( \frac{x}{c} \right)^2 + 0,2843 \left( \frac{x}{c} \right)^3 - 0,1015 \left( \frac{x}{c} \right)^4 \right] \text{sen} \left[ \arctan \left( \frac{2m}{(1-p)^2} (p - \frac{x}{c}) \right) \right] & pc \leq x \leq c \end{cases} \quad (6)$$

$$y_U = \begin{cases} m \frac{x}{p^2} (2p - \frac{x}{c}) + \frac{t}{0,2} c \left[ 0,2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0,1260 \frac{x}{c} - 0,3516 \left( \frac{x}{c} \right)^2 + 0,2843 \left( \frac{x}{c} \right)^3 - 0,1015 \left( \frac{x}{c} \right)^4 \right] \text{cos} \left[ \arctan \left( \frac{2m}{p^2} (p - \frac{x}{c}) \right) \right] & 0 \leq x \leq pc \\ m \frac{c-x}{(1-p)^2} (1 + \frac{x}{c} - 2p) + \frac{t}{0,2} c \left[ 0,2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0,1260 \frac{x}{c} - 0,3516 \left( \frac{x}{c} \right)^2 + 0,2843 \left( \frac{x}{c} \right)^3 - 0,1015 \left( \frac{x}{c} \right)^4 \right] \text{cos} \left[ \arctan \left( \frac{2m}{(1-p)^2} (p - \frac{x}{c}) \right) \right] & pc \leq x \leq c \end{cases} \quad (7)$$

$$x_L = \begin{cases} x + \frac{t}{0,2} c \left[ 0,2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0,1260 \frac{x}{c} - 0,3516 \left( \frac{x}{c} \right)^2 + 0,2843 \left( \frac{x}{c} \right)^3 - 0,1015 \left( \frac{x}{c} \right)^4 \right] \text{sen} \left[ \arctan \left( \frac{2m}{p^2} (p - \frac{x}{c}) \right) \right] & 0 \leq x \leq pc \\ x + \frac{t}{0,2} c \left[ 0,2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0,1260 \frac{x}{c} - 0,3516 \left( \frac{x}{c} \right)^2 + 0,2843 \left( \frac{x}{c} \right)^3 - 0,1015 \left( \frac{x}{c} \right)^4 \right] \text{sen} \left[ \arctan \left( \frac{2m}{(1-p)^2} (p - \frac{x}{c}) \right) \right] & pc \leq x \leq c \end{cases} \quad (8)$$

$$y_L = \begin{cases} m \frac{x}{p^2} (2p - \frac{x}{c}) - \frac{t}{0,2} c \left[ 0,2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0,1260 \frac{x}{c} - 0,3516 \left( \frac{x}{c} \right)^2 + 0,2843 \left( \frac{x}{c} \right)^3 - 0,1015 \left( \frac{x}{c} \right)^4 \right] \text{cos} \left[ \arctan \left( \frac{2m}{p^2} (p - \frac{x}{c}) \right) \right] & 0 \leq x \leq pc \\ m \frac{c-x}{(1-p)^2} (1 + \frac{x}{c} - 2p) - \frac{t}{0,2} c \left[ 0,2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0,1260 \frac{x}{c} - 0,3516 \left( \frac{x}{c} \right)^2 + 0,2843 \left( \frac{x}{c} \right)^3 - 0,1015 \left( \frac{x}{c} \right)^4 \right] \text{cos} \left[ \arctan \left( \frac{2m}{(1-p)^2} (p - \frac{x}{c}) \right) \right] & pc \leq x \leq c \end{cases} \quad (9)$$

Nótese que con éste método no es necesario importar los puntos del perfil a “Catia”, ya que vamos a usar las ecuaciones que los definen.

Teniendo estas expresiones podemos realizar el siguiente proceso para incluirlas en el módulo “Knowledge Advisor”:

- Creamos un nuevo “Part” y creamos 4 parámetros: NACA1, NACA2, NACA34 y Cuerda, que serán respectivamente el primer dígito del perfil NACA, el segundo dígito del perfil NACA, los dos últimos dígitos del perfil NACA y la cuerda del perfil. Esta vez los parámetros serán de tipo real y no longitudes, ya que al realizar las operaciones obtendremos errores al intentar igualar elementos de distinta dimensión. Podemos ver los parámetros en la figura 29.

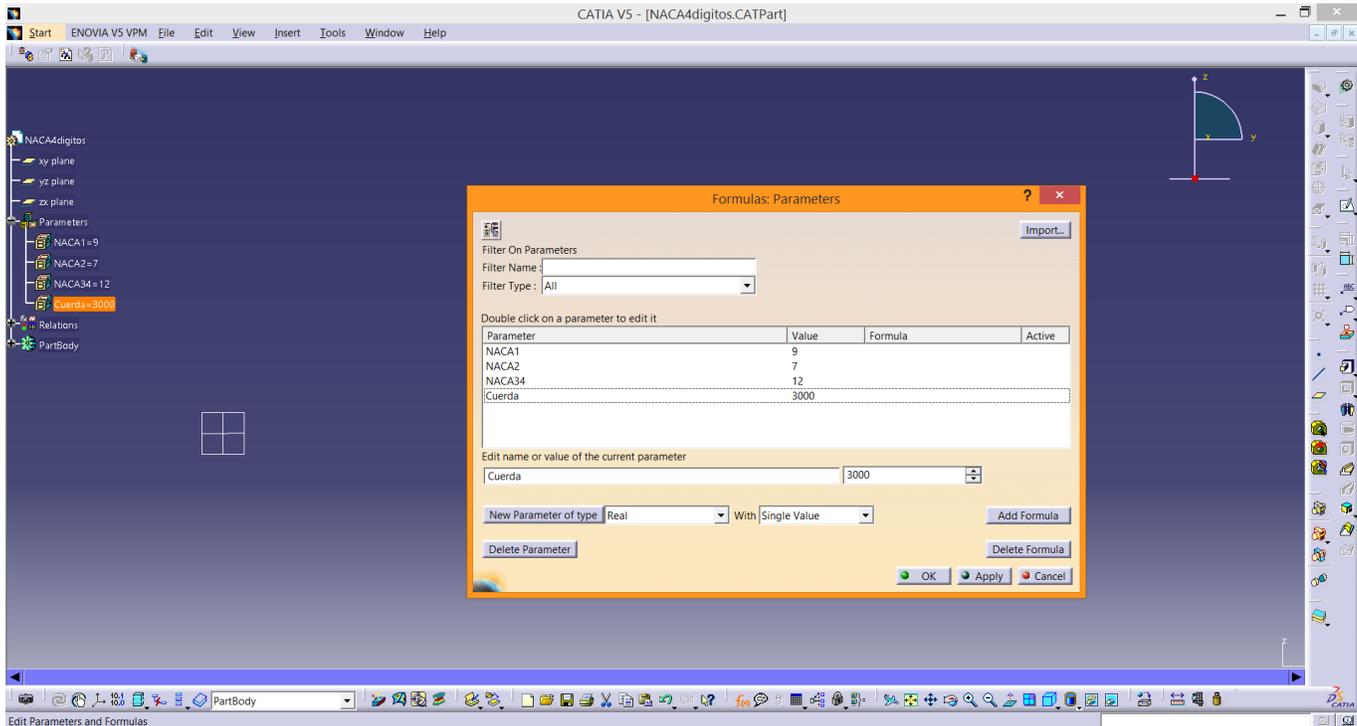


Figura 29: Parámetros para el perfil NACA de 4 dígitos.

- Creamos dos líneas de puntos, que van a ser el extradós y el intradós de nuestro perfil NACA de 4 dígitos. Hemos creado 60 puntos en total, para que se represente de manera fiel el contorno del perfil. Acotamos todos los puntos en longitud y en altura, como puede verse en la figura 30. Vamos a crear y a acotar todos los puntos por encima del origen de coordenadas ya que hay algunos perfiles de la familia de 4 dígitos en los que su coordenada  $y_L$  cambia de signo, sin embargo una cota de "Catia" no puede tener valor negativo. Para arreglar esto, a la hora de asignar los valores a las cotas en  $y$  le sumaremos un offset para que siempre sean positivas y no ocurra este problema. El orden de las cotas ha sido el siguiente: de la 61 a la 90 las cotas en longitud de los puntos del extradós, de la 91 a la 120 las cotas en altura de los puntos del extradós, de la 121 a la 150 las cotas en longitud de los puntos del intradós y de la 151 a la 180 las cotas en altura de los puntos del intradós. Las cotas no empiezan en el número 1 debido a que había otras 60 cotas anteriores que se eliminaron.

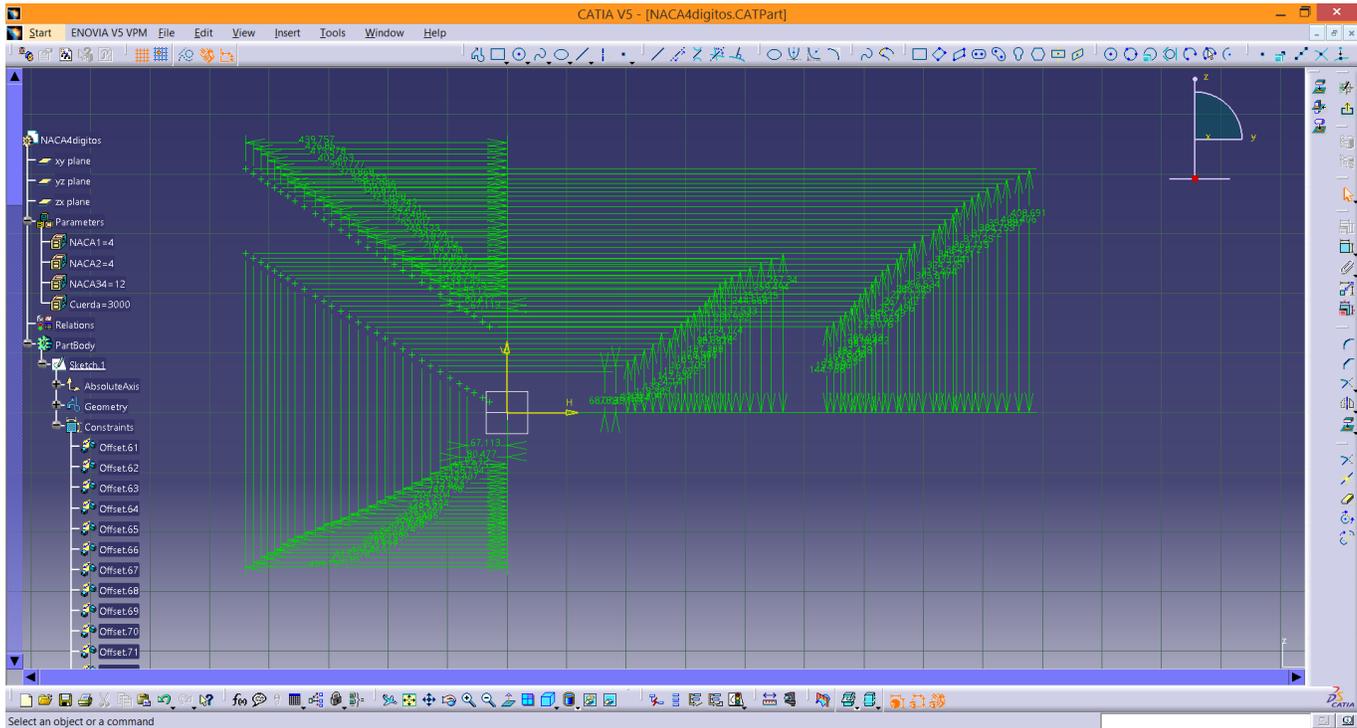


Figura 30: Cotas de todos los puntos del perfil.

- Vamos al módulo “Knowledge Advisor” y creamos una nueva “Rule”. La línea de código que hemos usado es la siguiente:

```
If (x/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.61\Offset = (x/1000*Cuerda - NACA34/(100*0.2)*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*sin(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000 else PartBody\Sketch.1\Offset.61\Offset = (x/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2)*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*sin(atan(2*(NACA1/100)/((1-(NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000)))))/1000
```

Que no es más que la fórmula 6. En “Catia” la sintaxis de la sentencia condicional es la siguiente: If {condición} {instrucciones} else {instrucciones}, también hay que tener en cuenta que la potencia se escribe como \*\*. La coordenada x va de 20 a 1000 y está adimensionalizada con la cuerda de forma que x/1000\*Cuerda va de 20/1000\*Cuerda hasta 1000/1000\*Cuerda. Debemos dividir los elementos por 1000 ya que las unidades de los parámetros tipo variable real están en el SI y las cotas en mm.

- Esto deberíamos hacerlo para cada una de las cotas de los puntos. De este modo, esta frase la incluimos en un programa de “Matlab” similar al de la sección anterior, para crear una serie de frases en las que el valor 61 de la cota vaya de 61 hasta 90 y los valores de la x vayan de 20 a 1000 como viene explicado en el código de la figura 31. Las frases resultantes de dicho código puede verse en la misma figura.

```

2 % Frase en cuestión
3 f1 = 'If (x/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.numerocoo
4 %dejamos únicamente lo que será constante y ponemos nombre representativos
5 % lo que va a cambiar, en este caso el número de la cota (numerocota) y la
6 %coordenada x del perfil (x) esta coordenada va de 0 a 1000, ya que hemos
7 %decidido que así sea, pero podría estar en cualquier intervalo (de 0 a 1
8 %por ejemplo).
9
10 % Arreglar caracteres conflictivos con fprintf
11 f2 = strrep(f1, '\n', '\\n'); % función que sustituye en f1 los \ por \\ ya
12 %que la función sprintf usa el comando \ para establecer propiedades como
13 %el salto de línea (\n)
14
15 % Sustituir en la cadena los elementos que van a variar por %1.0f (ya que
16 %ninguno de los valores va a tener decimales) que es lo que la función
17 % sprintf cambiará por lo que sea necesario.
18 t = '%1.0f';
19 f3 = strrep(f2, 'numerocota', t);
20 f4 = strrep(f3, 'x', t);
21
22 % valores por los que deben ser sustituidos los valores por defecto
23 % anteriores
24
25 % el valor numerocota queremos que vaya desde 61 hasta el 90 que es la
26 %numeración de las cotas en longitud de los puntos del extrado que hemos
27 %colocado en catis
28
29 % el valor de las coordenadas en x hemos decidido que tenga una división de
30 % 20 en los 5 primeros puntos y 36 en los 25 siguientes, para que quede
31 % mejor definido el borde de ataque, variando x entre 0 y 1000 que era lo
32 % que se pretendía
33
34 %el orden de la numeración de las cotas debe coincidir con el orden en el
35 % que se realizó el vector x
36 numerocota=61:90; x=[20:20:100,136:36:1000];
37
38 % Mostrar en pantalla
39 fprintf('\n\n')
40 for k = 1:length(x);
41 C = [x(k),numerocota(k),x(k)*ones(1,7),numerocota(k),x(k)*ones(1,7)];
42 % vector que contiene los caracteres ordenados que se van a sustituir
43 % en la frase. Tiene un orden especial como puede verse primero aparece
44 % la x, después numerocota, a continuación la x 7 veces etc.
45 fprintf([f4 , '\n' ], C) %sustituye los %1.0f por los valores de C
46 end

```

```

Command Window
>> NACA4
If (20/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.61\Offset = (20/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (40/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.62\Offset = (40/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (60/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.63\Offset = (60/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (80/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.64\Offset = (80/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (100/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.65\Offset = (100/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (136/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.66\Offset = (136/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (172/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.67\Offset = (172/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (208/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.68\Offset = (208/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (244/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.69\Offset = (244/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (280/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.70\Offset = (280/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (316/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.71\Offset = (316/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (352/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.72\Offset = (352/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (388/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.73\Offset = (388/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (424/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.74\Offset = (424/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (460/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.75\Offset = (460/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (496/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.76\Offset = (496/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (532/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.77\Offset = (532/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (568/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.78\Offset = (568/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (604/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.79\Offset = (604/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (640/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.80\Offset = (640/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (676/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.81\Offset = (676/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (712/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.82\Offset = (712/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (748/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.83\Offset = (748/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (784/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.84\Offset = (784/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (820/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.85\Offset = (820/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (856/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.86\Offset = (856/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (892/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.87\Offset = (892/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (928/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.88\Offset = (928/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (964/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.89\Offset = (964/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000
If (1000/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.90\Offset = (1000/1000*Cuerda -NACA34/(100*0.2))*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000))))/1000

```

Figura 31: Código “Matlab” y resultado del mismo para las cotas  $x_U$ .

- Pegamos las frases en el recuadro de programación de la “Rule”.

Con esto ya tenemos la coordenada  $x_U$  parametrizada con el número del perfil NACA y con la cuerda. Hacemos lo mismo para las coordenadas  $y_U$ ,  $x_L$  e  $y_L$ . Las líneas correspondientes a la primera cota de cada variable son las siguientes:

- Para  $y_U$ :

$$\begin{aligned}
 &\text{If } (x/1000*Cuerda) \leq (Cuerda*(NACA2/10)) \text{ PartBody\Sketch.1\Offset.91\Offset} \\
 &= (Cuerda/10 + ((NACA1/100)*(x/1000*Cuerda)^2*(NACA2/10 - x/1000)/(NACA2/10)**2) \\
 &+ NACA34/(100*0.2)*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000) - 0.1260*(x/1000) - 0.3516*(x/1000)**2 + 0.2843*(x/1000)**3 - \\
 &0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10) - (x/1000))))/1000 \\
 &\text{else PartBody\Sketch.1\Offset.91\Offset} = (Cuerda/10 + ((NACA1/100)*(Cuerda - x/1000*Cuerda)*(- \\
 &2*(NACA2/10) + x/1000 + 1)/(1 - NACA2/10)**2) \\
 &+ NACA34/(100*0.2)*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000) - 0.1260*(x/1000) - 0.3516*(x/1000)**2 + 0.2843*(x/1000)**3 - 0.1015*(x/1000)**4)* \\
 &cos(atan(2*(NACA1/100)/((1 - (NACA2/10)**2)*((NACA2/10) - (x/1000))))/1000
 \end{aligned}$$

Donde el valor de las cotas irá desde 91 hasta 120. Vemos que al valor inicial de la cota en altura le hemos añadido la cantidad  $Cuerda/10$  para que todos los puntos estén elevados esa cantidad respecto del origen de coordenadas por el motivo antes comentado.

- Para  $x_L$ :

$$\begin{aligned}
 &\text{If } (x/1000*Cuerda) \leq (Cuerda*(NACA2/10)) \text{ PartBody\Sketch.1\Offset.121\Offset} = (x/1000*Cuerda \\
 &+ NACA34/(100*0.2)*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000) - 0.1260*(x/1000) - 0.3516*(x/1000)**2 + 0.2843*(x/1000)**3 - \\
 &0.1015*(x/1000)**4)*sin(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10) - (x/1000))))/1000 \\
 &\text{else PartBody\Sketch.1\Offset.121\Offset} = (x/1000*Cuerda + NACA34/(100*0.2)*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000) - \\
 &0.1260*(x/1000) - 0.3516*(x/1000)**2 + 0.2843*(x/1000)**3 - 0.1015*(x/1000)**4)*sin(atan(2*(NACA1/100)/((1 - \\
 &(NACA2/10)**2)*((NACA2/10) - (x/1000))))/1000
 \end{aligned}$$

Donde el valor de las cotas irán desde 121 hasta 150.

- Para  $y_L$ :

```

If (x/1000*Cuerda) <= (Cuerda*(NACA2/10)) PartBody\Sketch.1\Offset.151\Offset =
(Cuerda/10+((NACA1/100)*(x/1000*Cuerda)*(2*(NACA2/10)-x/1000)/(NACA2/10)**2)
-NACA34/(100*0.2)*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-
0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((NACA2/10)**2)*((NACA2/10)-(x/1000)))))/1000 el-
se PartBody\Sketch.1\Offset.151\Offset = (Cuerda/10+((NACA1/100)*(Cuerda-x/1000*Cuerda)*(-
2*(NACA2/10)+x/1000+1)/(1-NACA2/10)**2)
-NACA34/(100*0.2)*Cuerda*(0.2969*sqrt(x/1000)-
0.1260*(x/1000)-0.3516*(x/1000)**2+0.2843*(x/1000)**3-0.1015*(x/1000)**4)*cos(atan(2*(NACA1/100)/((1-
(NACA2/10)**2)*(NACA2/10)-(x/1000)))))/1000

```

Donde el valor de las cotas irán desde 151 hasta 180. Vemos que al valor inicial de la cota en altura le hemos añadido la cantidad  $Cuerda/10$  para que todos los puntos estén elevados esa cantidad respecto del origen de coordenadas por el motivo antes comentado.

Una vez realizado todo el proceso e introducidas todas las frases en el recuadro de programación de la “Rule” pulsamos “Apply” y “OK”. Solo nos falta crear el punto correspondiente al borde de ataque que estaría sobre el eje y y a una distancia en altura de  $Cuerda/10$  mm. Una vez hecho esto vemos como podemos cambiar el valor de los parámetros para representar distintos tipos de perfil de la familia de 4 dígitos, aunque sean de forma tan exótica como el 9712. Podemos comprobar que hemos realizado correctamente el proceso verificando la forma del perfil con la herramienta “Airfoil plotter” de “www.airfoiltools.com”. Podemos ver dos ejemplos en las figuras 32 y 33.

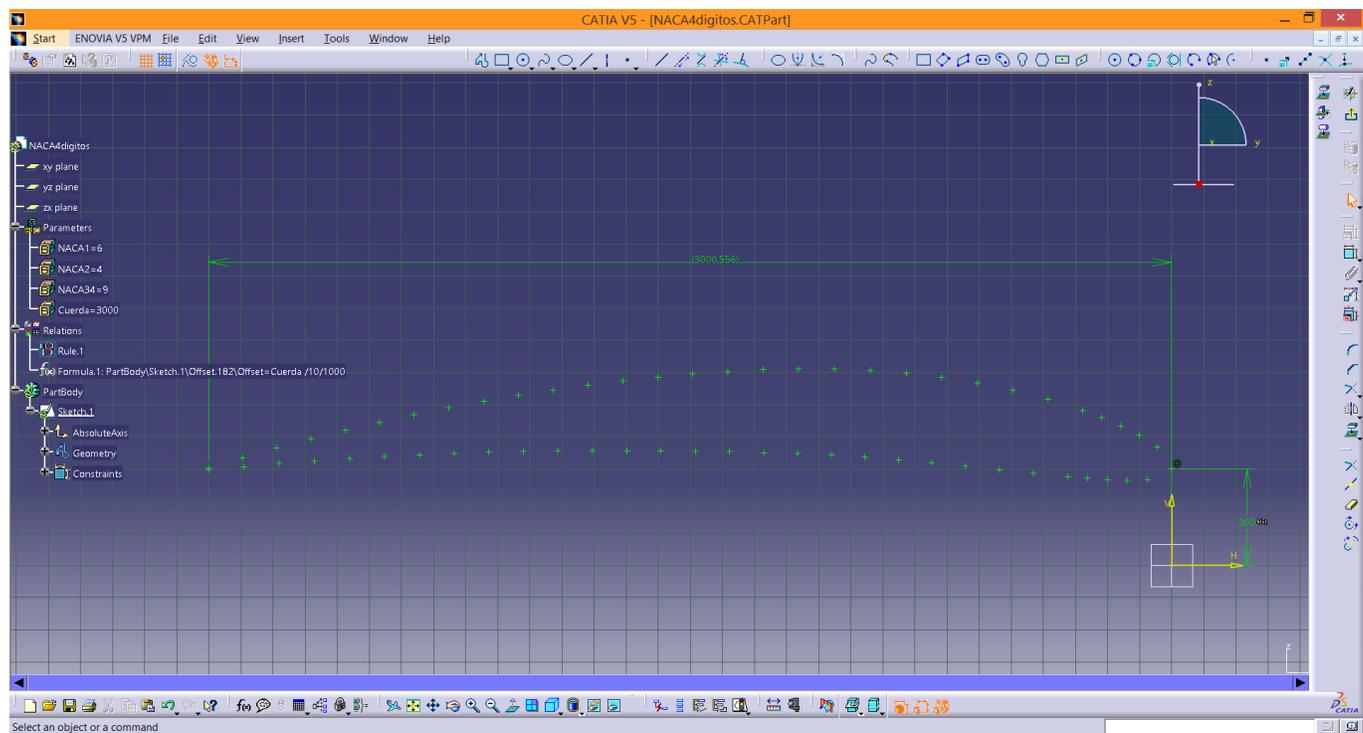


Figura 32: Representación del perfil NACA 6409 con 3 m de cuerda.

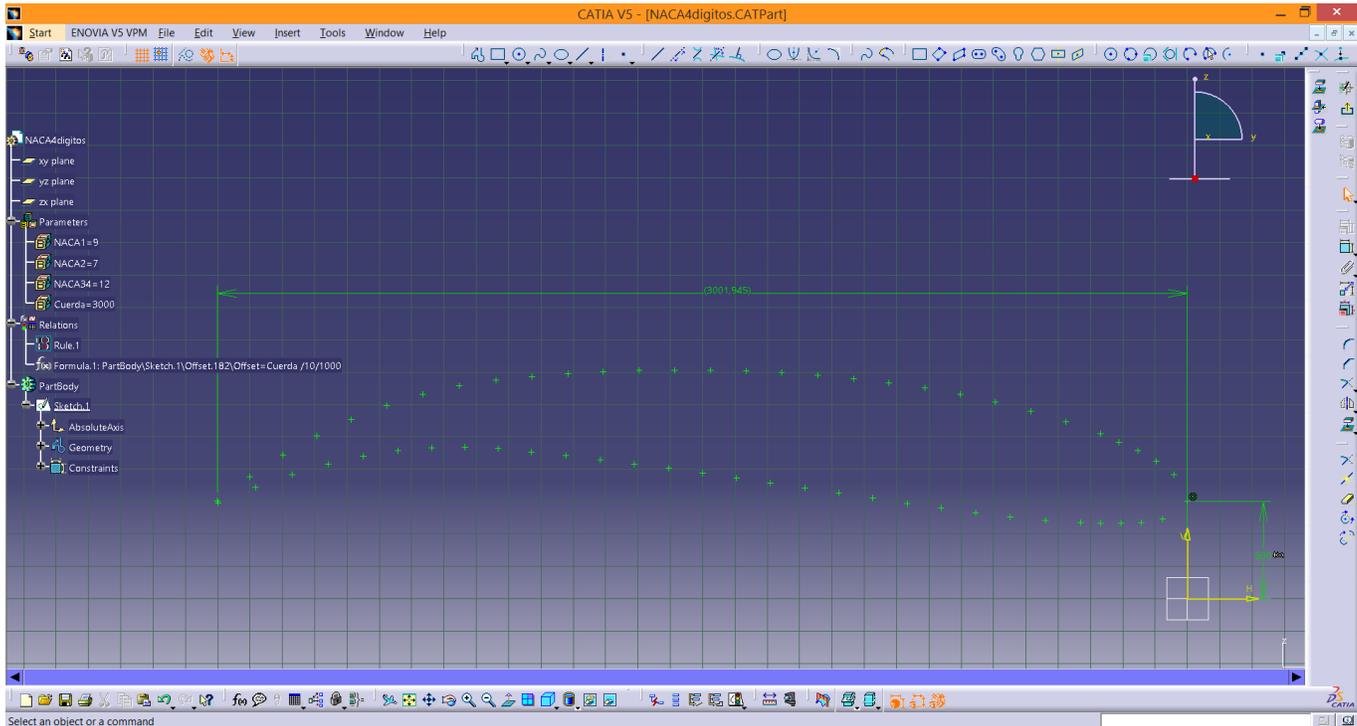


Figura 33: Representación del perfil NACA 9712 con 3 m de cuerda.

Los códigos de “Matlab” y archivos de “Catia” usados en este ejemplo están adjuntos al documento.

## 6. Parametrización de un ala con perfil NACA de 4 dígitos, flecha, diedro, torsión y estrechamiento.

Una vez realizada la parametrización del perfil NACA dibujar un ala completa parametrizada es sencillo, veamos el procedimiento:

- Partiremos del perfil creado en el ejemplo anterior. Creamos el parámetro Diedro y construimos un plano inclinado respecto a la horizontal con un ángulo igual a dicho parámetro, así podremos cambiar este valor y el plano cambiará de inclinación y con él todo el ala. Tenemos que cambiar el “Sketch Support” del perfil por un plano que sea perpendicular al anterior, para que el perfil también gire al cambiar el diedro. En la figura 34 se puede ver cómo queda el perfil.
- Creamos los parámetros Flecha y Semienvergadura y ayudándonos de estos construimos una línea que nos servirá de guía, como puede verse en la figura 35.
- Creamos un plano en el extremo de esa línea que sea paralelo al plano del “Sketch” del primer perfil. En este plano vamos a crear el perfil de la punta del ala. Seguimos el mismo procedimiento que para el perfil anterior, con la salvedad de que las líneas de referencia para colocar las cotas deben estar inclinadas un ángulo al que le asociaremos un parámetro llamado Torsión, de esta manera la línea de la cuerda del perfil estará inclinada un ángulo que podremos controlar con dicho parámetro, pudiendo así cambiar la torsión del ala. Hemos creado también los parámetros necesarios para la construcción del nuevo perfil: NACA1T, NACA2T, NACA34T y CuerdaT. En la figura 36 puede verse el resultado de la acotación, nótese que la vista está girada. En la figura 37 puede verse el perfil de punta de ala parametrizado, donde se aprecia la inclinación respecto al anterior.
- Ya solo falta representar el ala mediante la opción “Multi-Sections Solid”.

A veces es necesario parametrizar el ala con el área de referencia en lugar de con los parámetros que hemos escogido. Para tener en cuenta esto podemos crear un número parámetro que se llame AreaRef y poner, por ejemplo, el parámetro

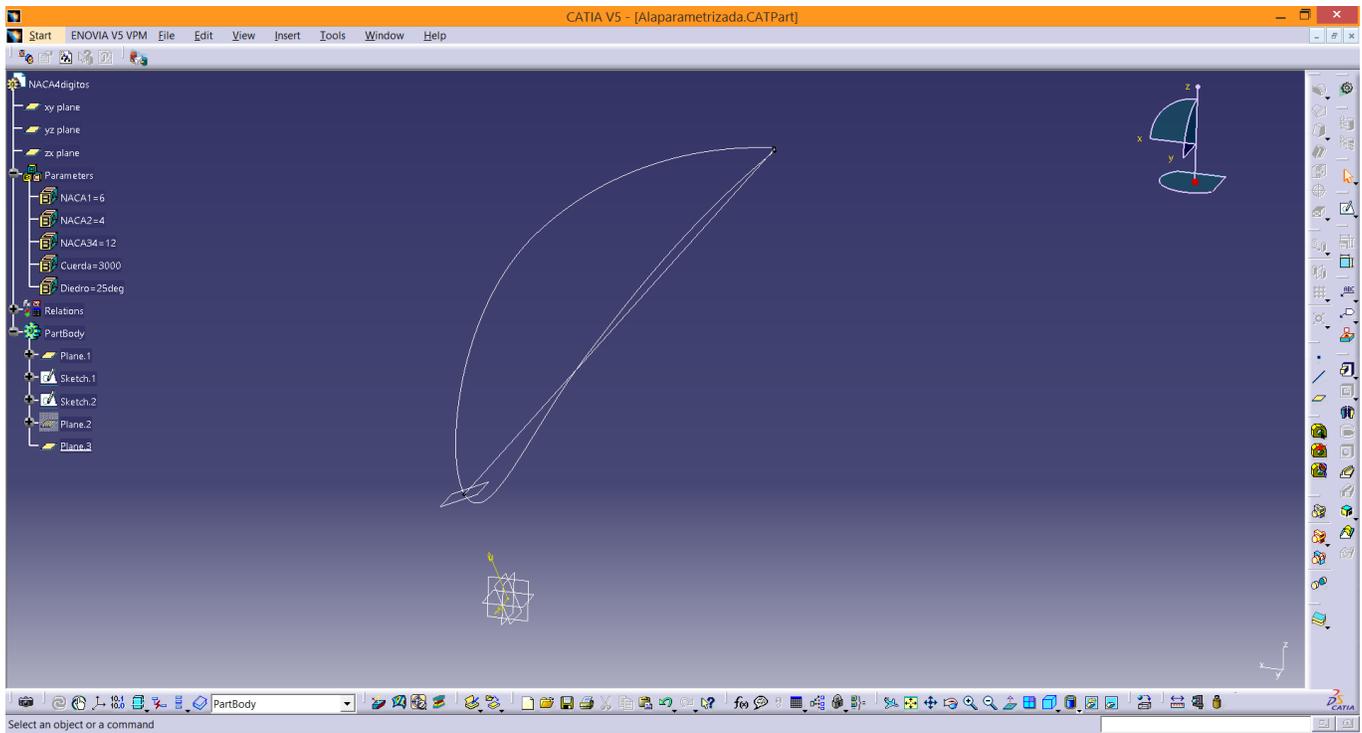


Figura 34: Parametrización del diedro.

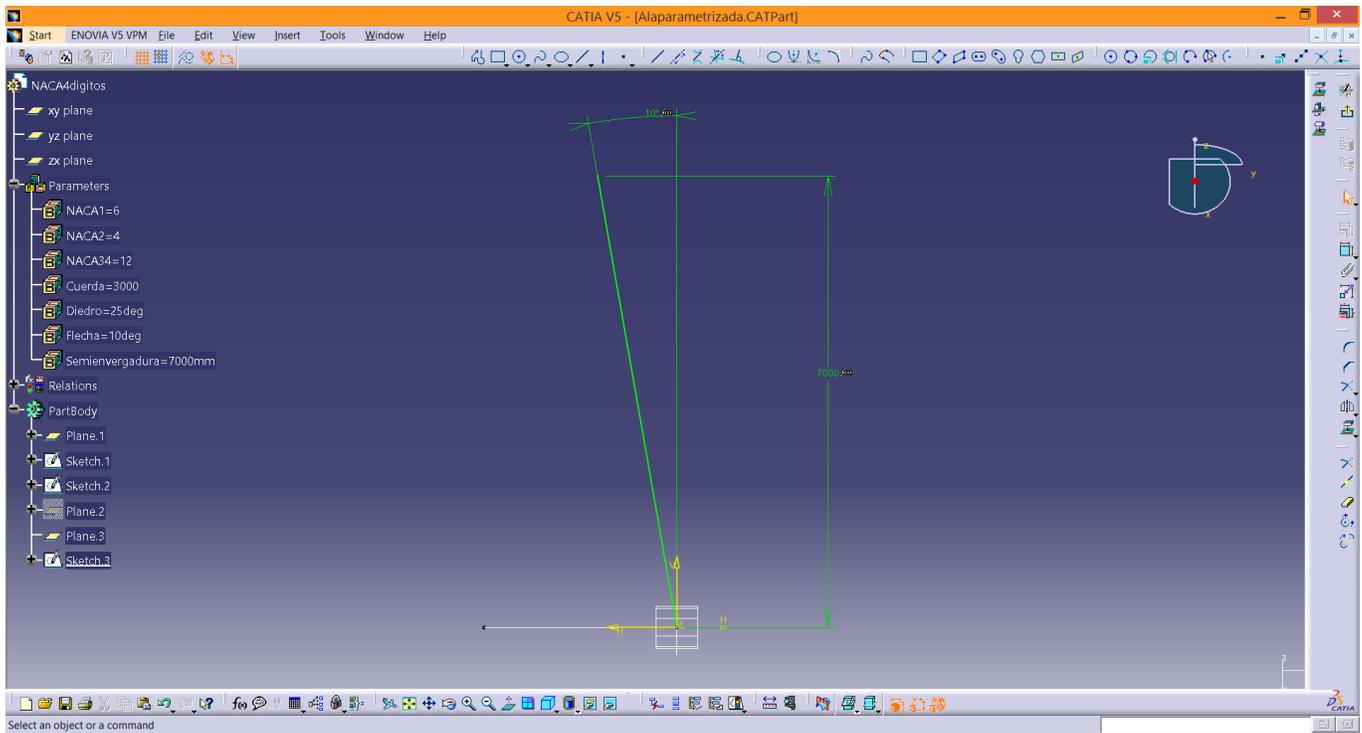
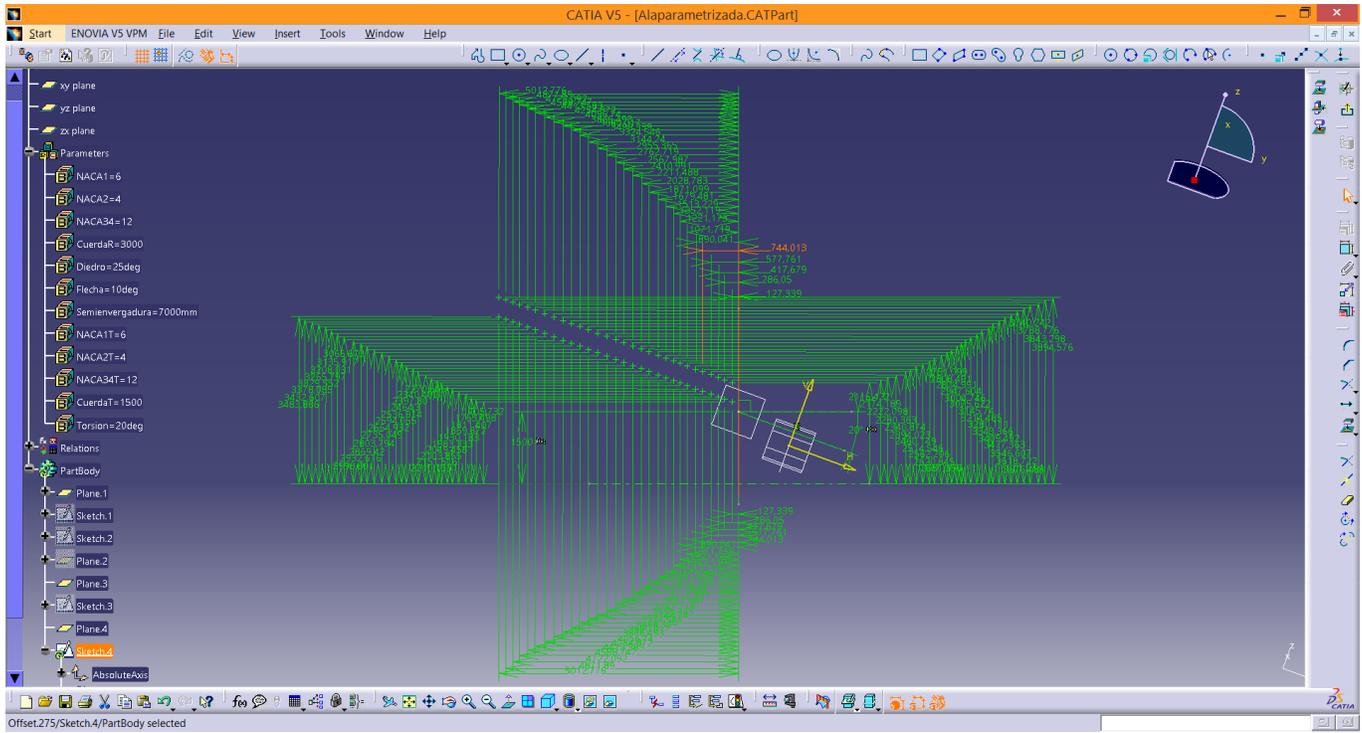


Figura 35: Parametrización de la semienvergadura y de la flecha.



averiguar

Figura 36: Acotación del perfil de punta de ala.

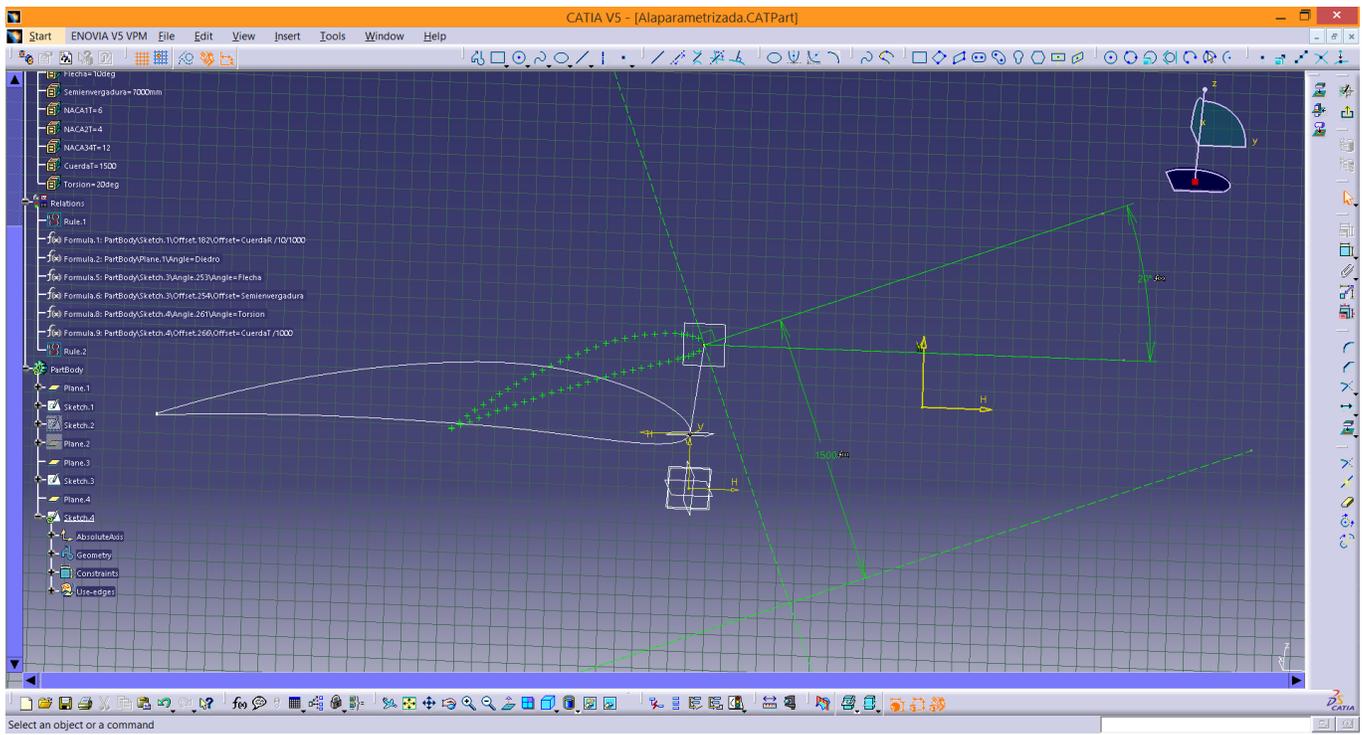


Figura 37: Posición relativa entre perfiles.

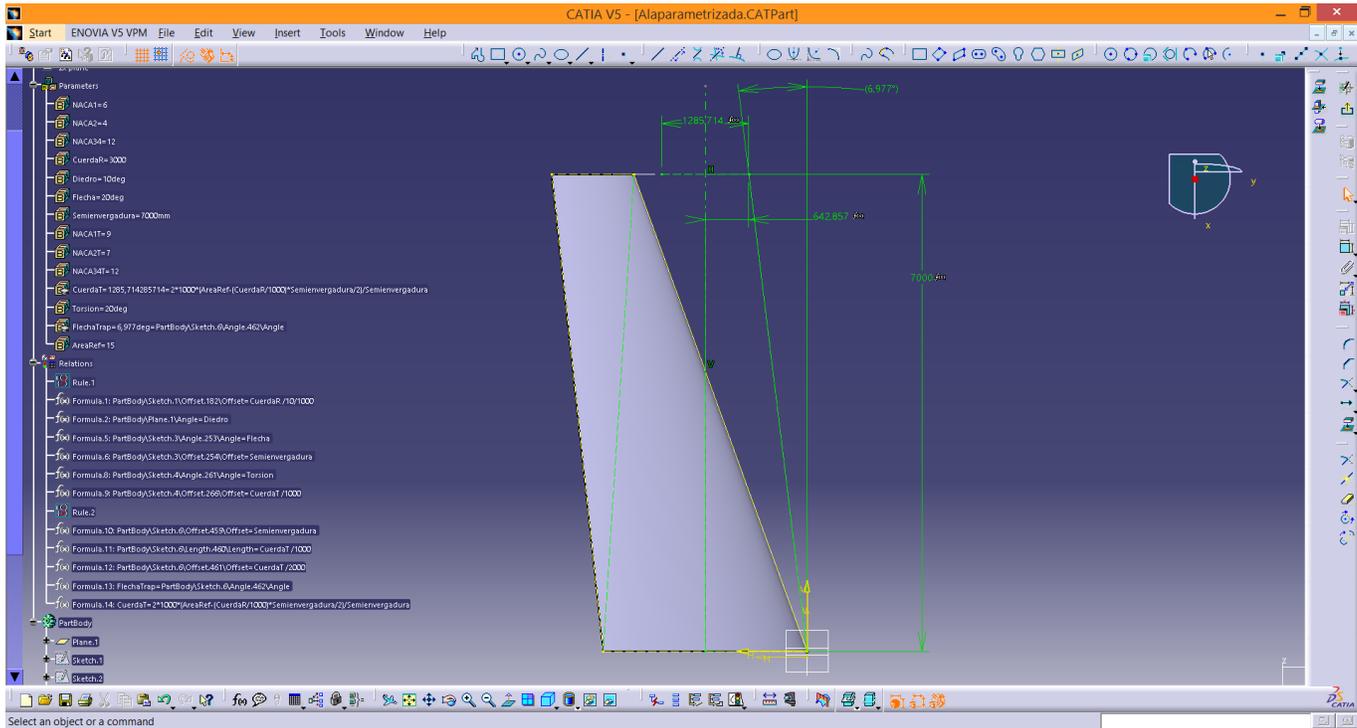


Figura 38: Construcción para hallar el valor del parámetro FlechaTrap

CuerdaT en función del primero (a los parámetros también se les puede asociar una fórmula), de manera que modificando el parámetro AreaRef el parámetro CuerdaT se ajusta automáticamente para satisfacer las restricciones. La fórmula 10 muestra la relación que existe entre estos parámetros.

$$CuerdaT = \frac{2}{Semienvergadura} \left( AreaRef - \frac{CuerdaR \cdot Semienvergadura}{2} \right) \quad (10)$$

Puede que el diseño de nuestro avión conduzca a un ala trapezoidal, con lo que habría que cambiar el parámetro Flecha a un valor en principio desconocido (se podría ir probando hasta que el ala tuviera una forma más o menos trapezoidal, pero no es una forma muy ortodoxa). Esto se puede solucionar creando un nuevo parámetro al que llamaremos FlechaTrap al cual le asociaremos el valor resultante de la cota de la flecha de la construcción de la figura 38, de esta manera tenemos disponible el valor que debería tener la flecha para que nuestra ala fuera trapezoidal, para hacer esto realidad solo tendríamos que asociarle a nuestro parámetro Flecha el valor del parámetro FlechaTrap.

El resultado final de la parametrización del ala con NACA 6412 en la raíz, NACA 9712 en la punta, 3m de cuerda en la raíz, 10° de diedro, 20° de flecha, 7m de semienvergadura, 20° de torsión y 15m<sup>2</sup> de área de referencia puede verse en las figuras 39, 40 y 41.

Con las herramientas que hemos visto y con unos minutos más podemos construir la estructura interna del ala de forma parametrizada como puede verse en la figura 42.

Los códigos de “Matlab” y archivos de “Catia” usados en este ejemplo están adjuntos al documento.

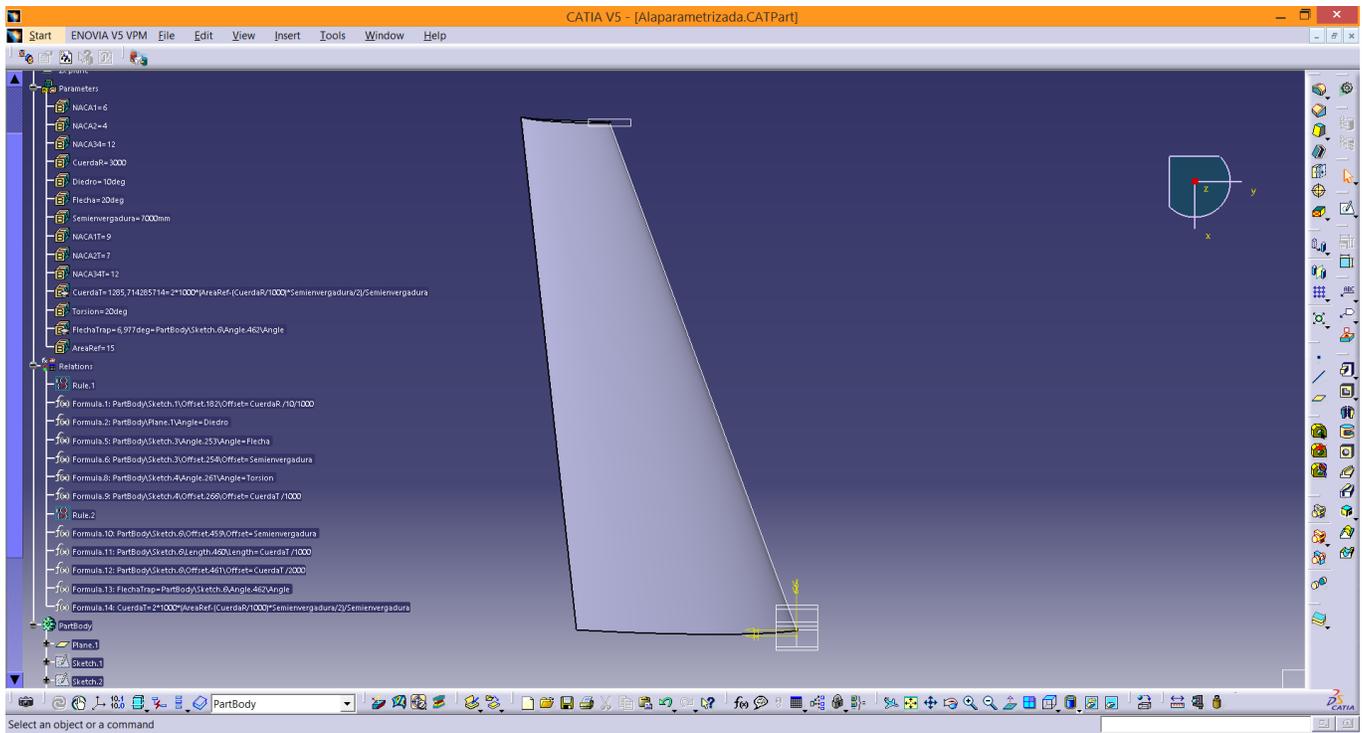


Figura 39: Ala parametrizada en planta.

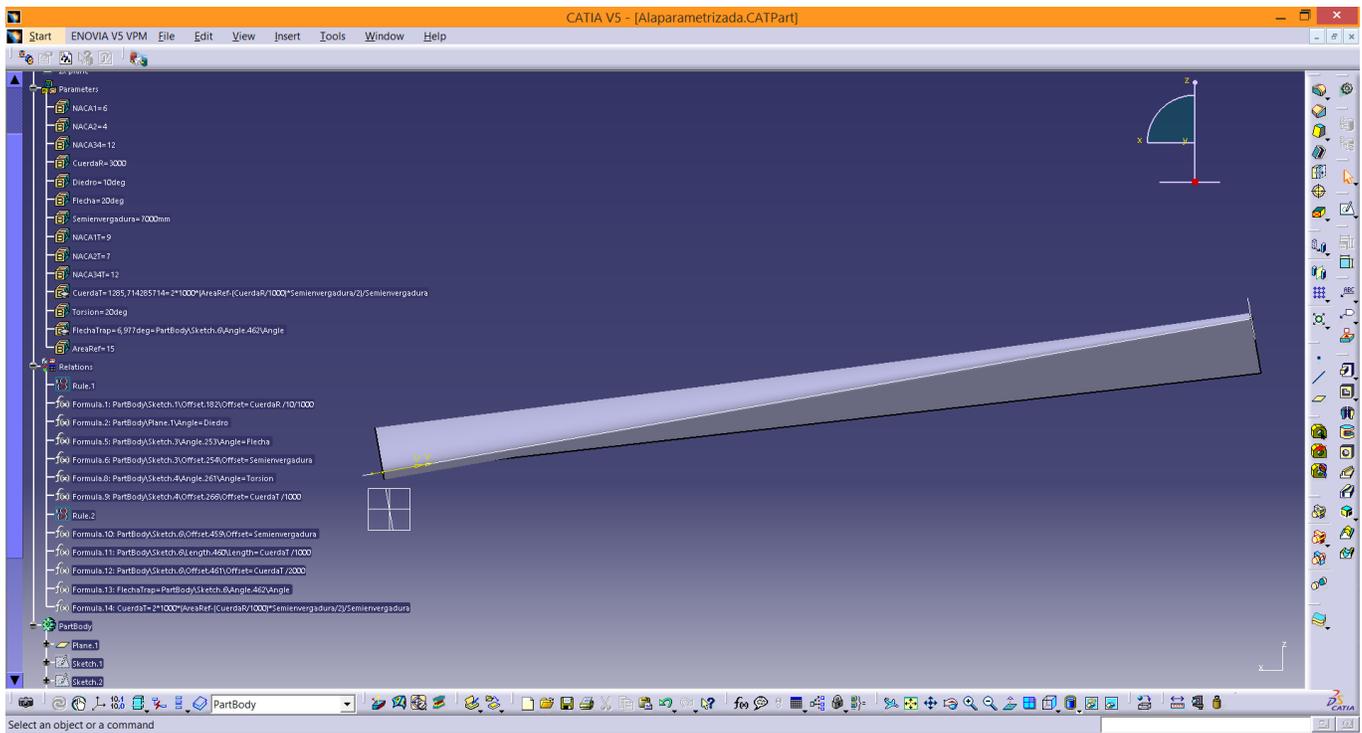


Figura 40: Ala parametrizada en alzado.

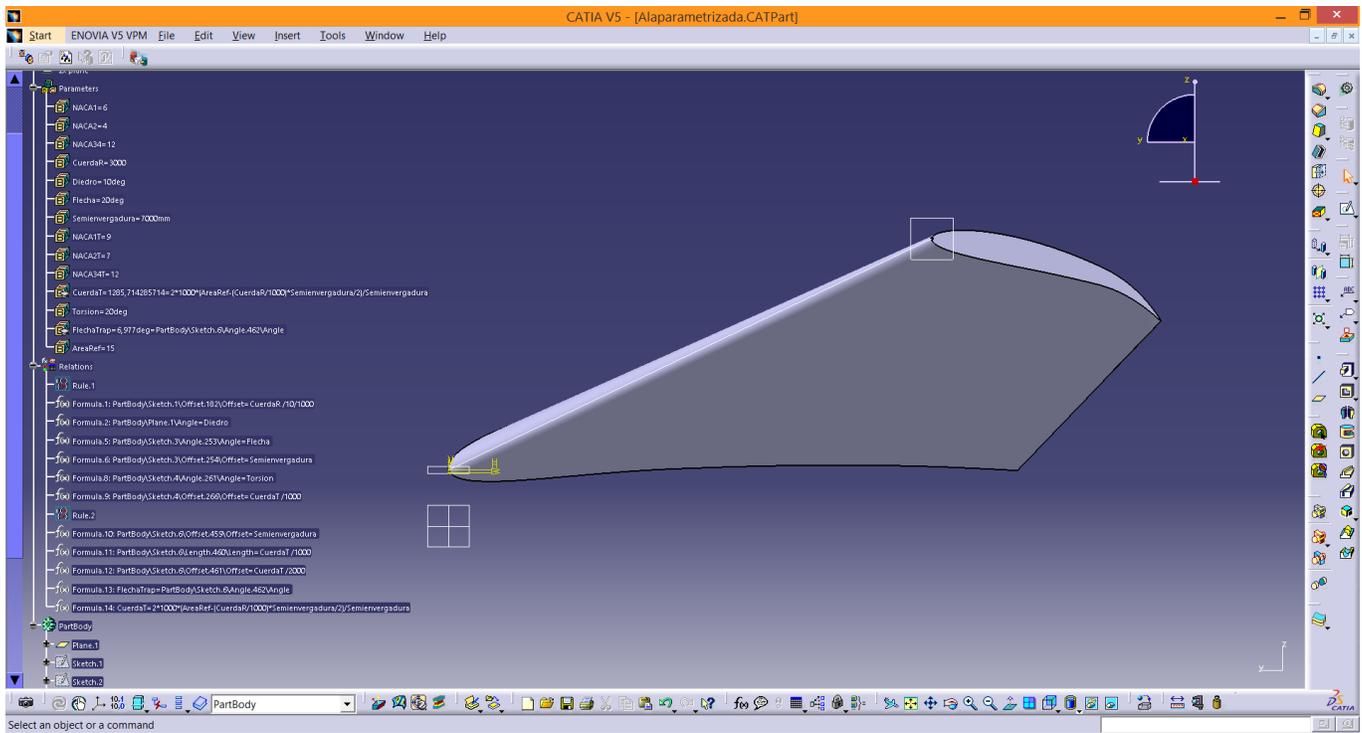


Figura 41: Ala parametrizada en perfil.

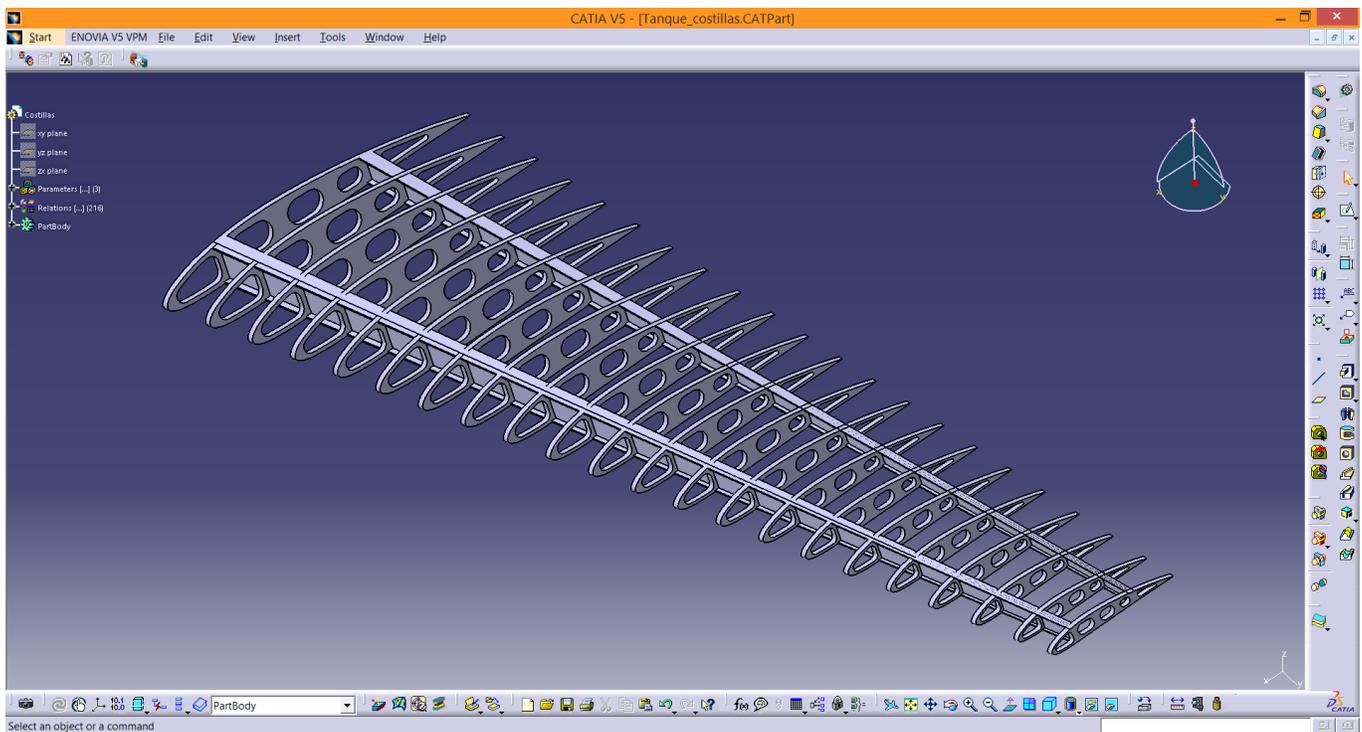


Figura 42: Estructura interna parametrizada.