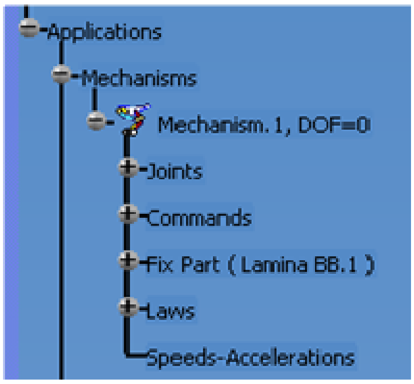
8 ANIMACIÓN: DMU KINEMATICS

Vamos a tratar en este apartado las diferentes animaciones que se han realizado en el presente proyecto usando el módulo  DMU Kinematics.

Este es el aspecto que presenta en general *la rama del arbol* de un mecanismo:



Para relaizar la simulación de un mecanismo, es condición necesaria la existencia de una parte fija, luego lo más cómodo es definirla al principio. Despues pasamos a definir las uniones entre las distintas piezas, esto se puede hacer de varias formas:

- A partir de un ensamblaje, convirtiendo las restricciones del ensamblaje en uniones o “joints” con la herramienta “Converting Constraints into Joints”  .

- Introduciendo las piezas, situándolas aproximadamente y creando las uniones una a una usando

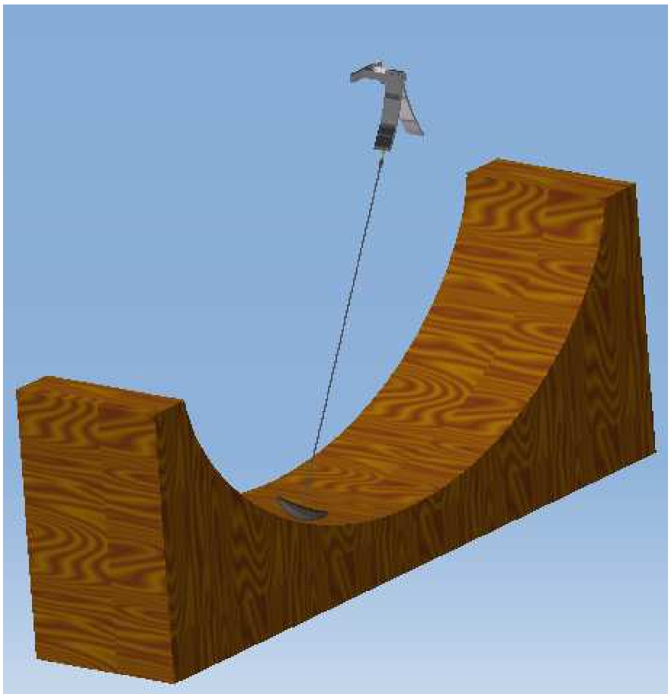
FRANCISCO J
GONZÁLEZ CABANES

8.1 Simulación del movimiento del péndulo

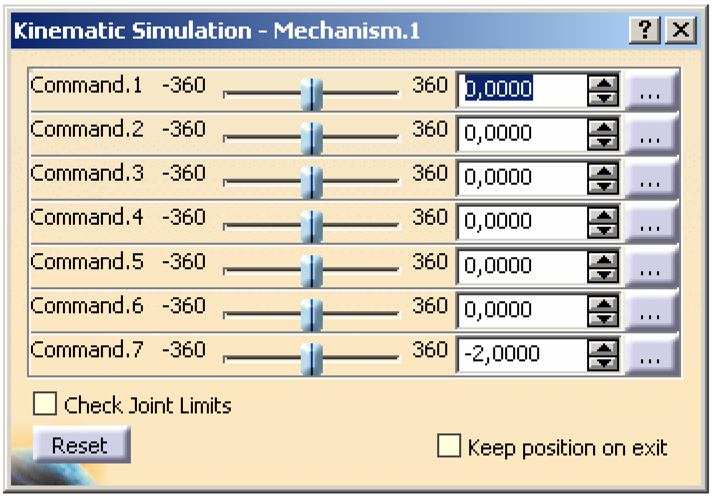
Para realizar la simulación del movimiento del péndulo con CATIA se nos presentan los siguientes problemas: la imposibilidad por un lado de modelar elementos flexibles, lo cual solucionamos modelando el péndulo como una especie de cadena de 7 eslabones, y despues, como hacer que dicha cadena se adapte a las chapas cicloidales en su movimiento periódico, pues CATIA tiene la posibilidad de detectar contactos, pero si tenemos activada esta opción, en el momento que lo hace detiene la simulación.

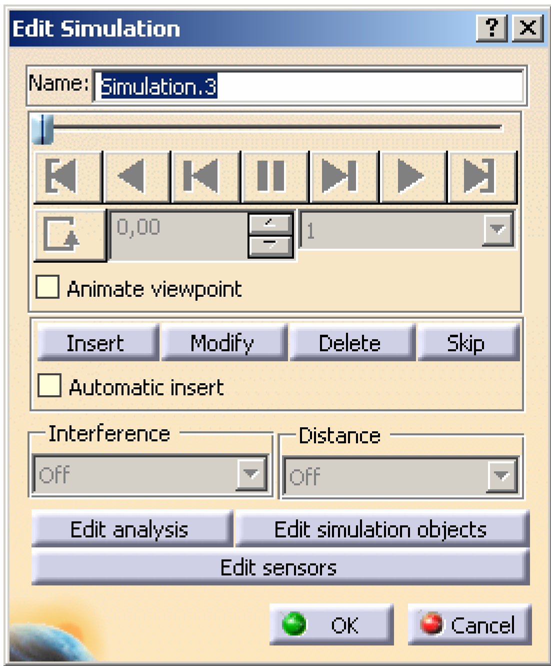
Teniendo en cuenta lo anterior, el péndulo ha sido simulado de las dos formas que perimite CATIA, por comandos, y através de funciones. La primera consiste en mover discretamente cada grado de libertad, a nuestra conveniencia, y la segunda, en imponer una función a cada grado de libertad conductor del mecanismo. Como hemos modelado el péndulo como una cadena, aunque se ha procurado que la apariencia sea la de una cuerda, en cada punto de union entre eslabones habrá un grado de libertad de giro, que serán los conductores del péndulo.

Se ha usado la **simulación por comandos** para demostrar, o más bien comprobar, una de las importantes propiedadades de la cicloide descubierta por Huygens, la que dice que “ la evoluta de una cicloide es la propia cicloide desplazada” y también de paso, verificar la buena aproximación que supone el modelo realizado para el péndulo. El escenario sería el que se muestra a continuación, donde la cicloide de la base de madera y la de las chapas cicloidales es la misma pero desplazada:



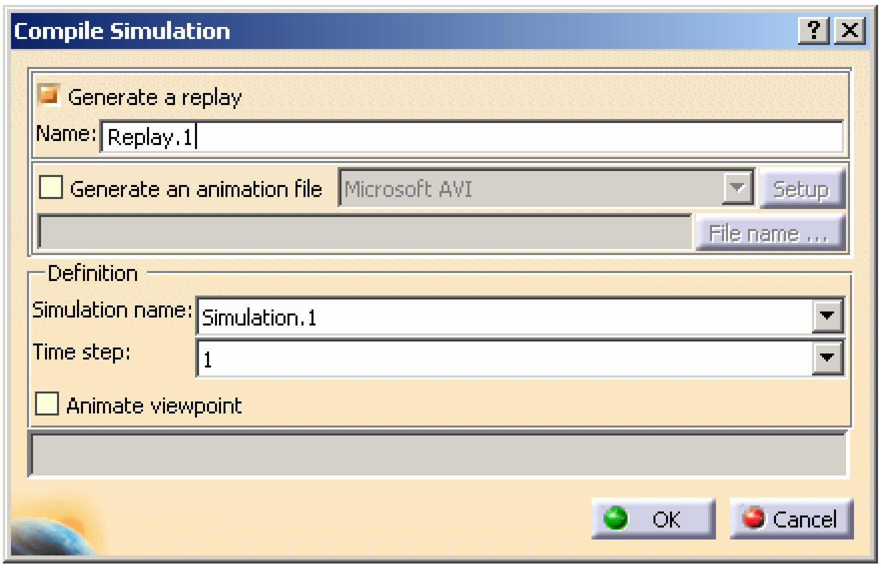
Para ello, edito con comandos la simulación de un solo periodo del movimiento, moviendo los grados de libertad uno a uno de la forma más parecida a lo que lo harían en la realidad, en la vantana “ Kinematic Simulation”. A la vez, en la ventana “Edit Simulation”, vamos insertando sucesivamente fotogramas por cada movimiento de un grado de libertad que realizamos. Ambas ventanas se muestran simultáneamente en la pantalla de CATIA como se muestra a continuación.



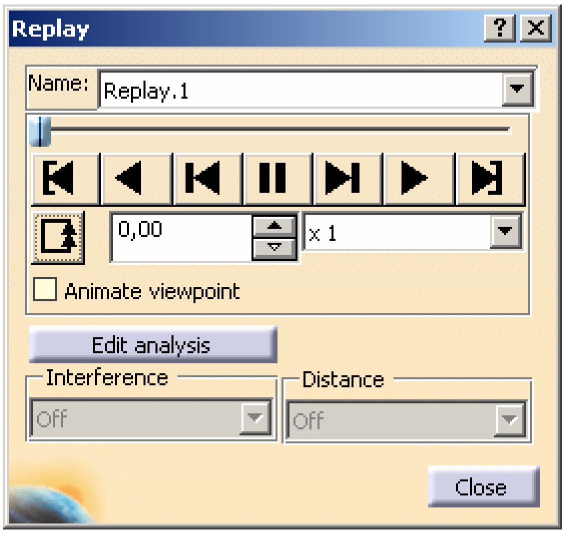


Movemos paulatinamente los comandos de forma que al llegar a las chapas nos adaptemos al máximo a ellas, procurando, en la medida de lo posible, la tangencia de los eslabones a la chapa correspondiente, de manera que el comportamiento se asemeje al máximo al de una cuerda tal y como se muestra en la figura siguiente:

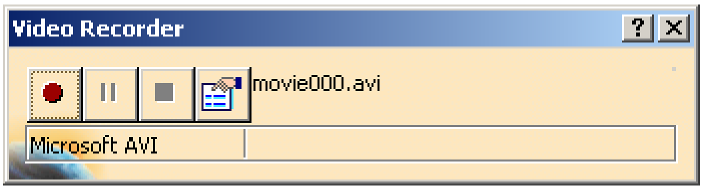
Después se compila la simulación, creando una *película* o “Replay” y así nos ahorramos que el ordenador la tenga que crear cada vez que la queramos ver, ralentizando mucho el movimiento:



Posteriormente se reproduce cíclicamente la “Replay” creada, para tener el movimiento periódico del péndulo, pues solo habíamos insertado un periodo del movimiento:

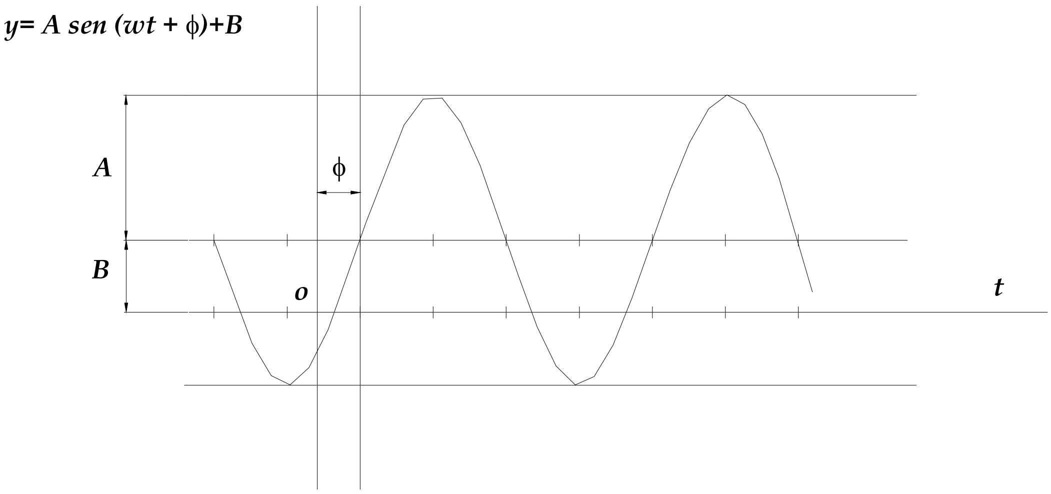


Y capturo en un video la película, accediendo desde la Barra de Menús a Tools/Image/Video:



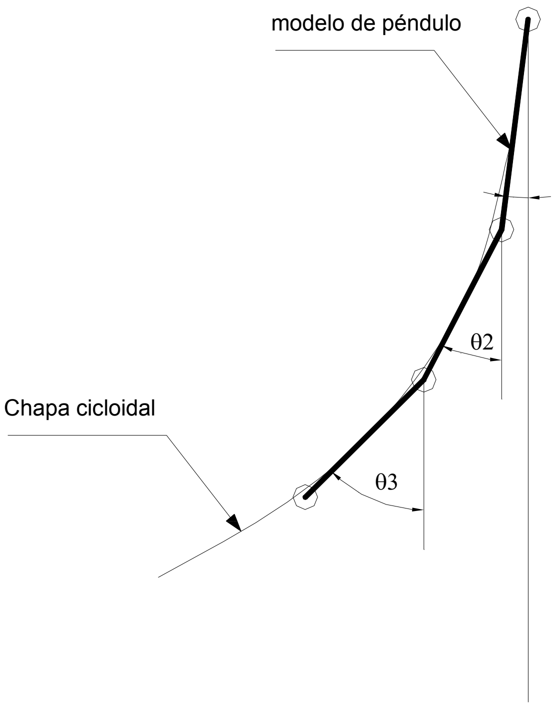
Generamos un video llamado “Péndulo” en el que se puede apreciar tanto que se cumple la propiedad enunciada por Huygens como que el modelo del péndulo realizado da muy buen resultado, aunque introduce un pequeño error, debido a que por la cogida que se tiene que usar para salir de entre las chapas cicloidales estamos despreciando una pequeña parte de la cicloide:

Para la animación del reloj completo, el péndulo se ha **simulado con funciones,** debido a la cantidad de piezas que se mueven a diferente velocidad cada una, y respecto a la demás, lo que hace practicamente imposible una sincronización discreta mediante comandos del mecanismo completo. Empezemos por recordar la función que describe el movimiento de un péndulo simple**:**



Para que el péndulo empiece a moverse en su punto de amplitud máxima $\phi = \pm 90\,°$ y como nuestro péndulo debe marcar segundos $\Rightarrow \omega = 180 \frac{°}{\text{seg}}$

En nuestro caso, según hemos modelado, lo que tenemos es un péndulo compuesto, en el que cada eslabón describe un movimiento periódico simple respecto al eslabón anterior:



$\theta 1(t) = \theta 1 \; \mathbf{\mathit{sen}} \; \mathbf{(180\mathit{t} \; -90) + } \theta 1$

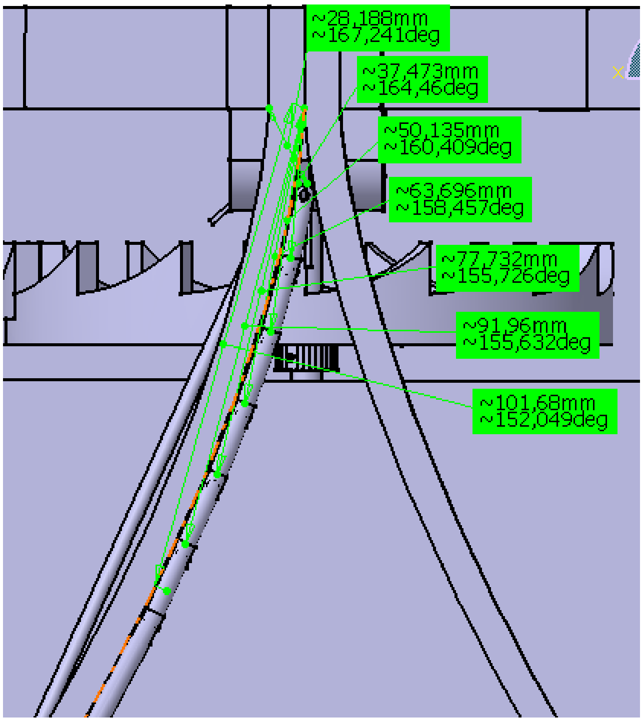
$\theta 2(t) = (\theta 2 - \theta 1) \; \mathbf{\mathit{sen}} \; \mathbf{(180\mathit{t} \; - } 90\mathbf{) + } (\theta 2 - \theta 1)$

$\theta 3(t) = (\theta 3 - \theta 2) \; \mathbf{\mathit{sen}} \; \mathbf{(180\mathit{t} \; - } 90\mathbf{) + } (\theta 3 - \theta 2)$

Como CATIA, cuando creamos un mecanismo, fija la refencia entre piezas como la posición que tienen en el momento de crear la unión (“join”), lo que hacemos es, antes de crear las uniones, en Assembly Design, situar las piezas tangentes a una de las chapas cicloidales, como se muestra en la figura de la izquierda, y entonces es cuando creamos las uniones entre los diferentes eslabones, siendo pues las funciones que simulan el movimiento de éstos como las que aparecen en la figura superior o como las que se muestran a continuación:

$$\mathit{para el primer eslabon:}$$
$$\theta_1(t) = \theta_1 \, sen(180t - 90) + \theta_1$$
$$\mathit{para el resto de eslabones:}$$
$$\theta_j(t) = (\theta_j - \theta_i) \, sen(180t - 90) + (\theta_j - \theta_i)$$

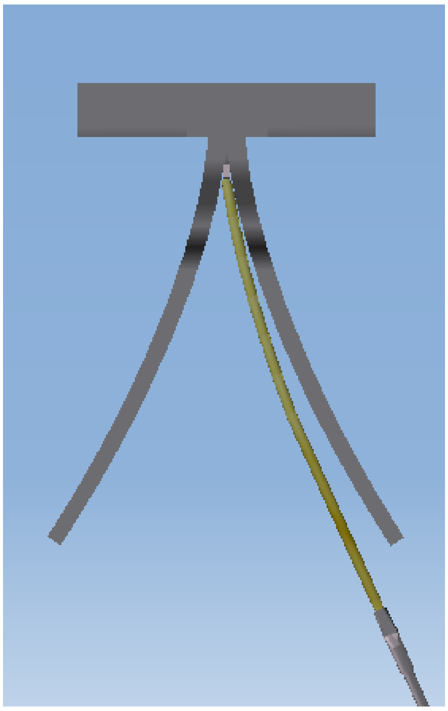
Para tenerlas totalmente definidas bastará con acotar los angulos que en la posición inicial, forman con la vertical los distintos eslabones :

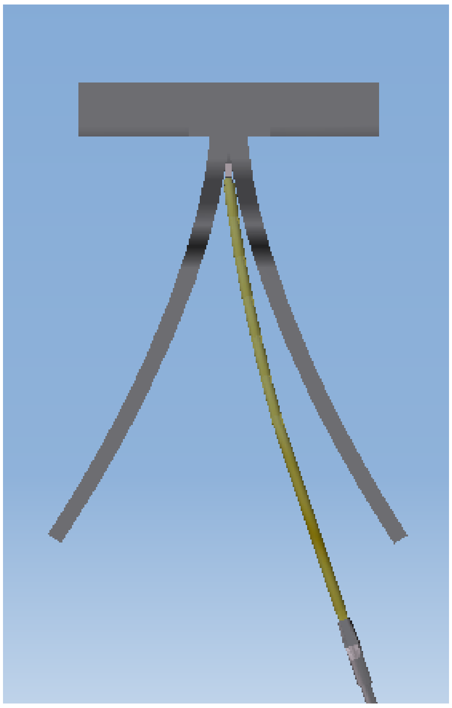


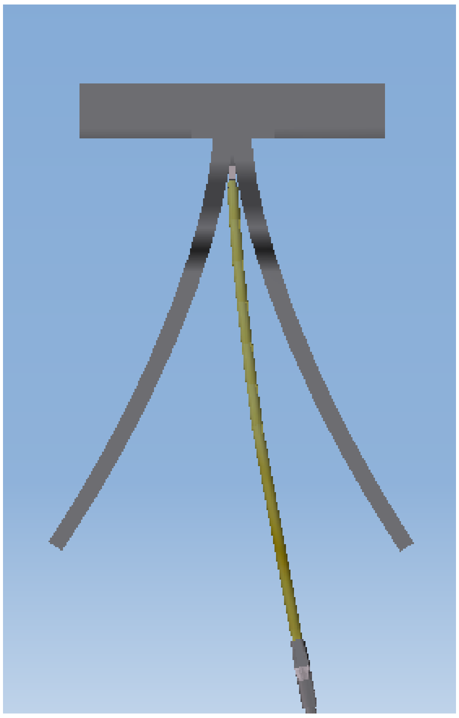
Así pues las leyes que describen el movimiento de los eslabones de la cuerda ficticia serán:

$$\theta_1(t) = (180 - 167.241)\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1 = 12.759\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1$$
$$\theta_2(t) = (167.241 - 164.46)\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1 = 2.781\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1$$
$$\theta_3(t) = (164.46 - 160.409)\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1 = 4.051\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1$$
$$\theta_4(t) = (160.409 - 158.457)\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1 = 1.952\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1$$
$$\theta_5(t) = (158.457 - 155.726)\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1 = 2.731\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1$$
$$\theta_6(t) = (155.726 - 155.632)\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1 = 0.094\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1$$
$$\theta_7(t) = (155.632 - 152.049)\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1 = 3.583\ \text{sen}\ (180t - 90) + \theta_1$$

El proceso que sigue es análogo al anterior, en la simulación con comandos: editamos una simulación, y después al editarla, podemos o crear una Replay, o generar un video (esto también se puede hacer en el caso anterior):







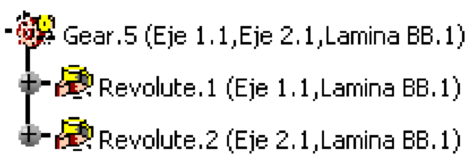
En las capturas mostradas de la animación se aprecia lo aproximado de este modelo, cómo la “cuerda” ya se va curvando antes de llegar a la chapa cicloidal, y justo en el momento de llegar ya tiene la forma de la chapa. Aunque la cadena no se mueve exactamente como una cuerda, el fuste del péndulo si lleva el movimiento necesario para regular las marcha del reloj.

8.2 Simulación del Reloj completo

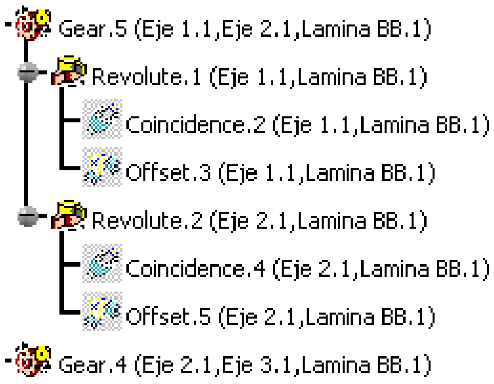
Pasamos a simular lo que sería el tren de engranajes regulado por el péndulo. En esta simulación no vamos a incluir la totalidad de las piezas, vamos a prescindir de las que dificulten la visuaización del macanismo y no desempeñen alguna función en lo que a movimiento repecta, como el Subensamblaje Esferas y algun gnomon. También para mejorar la visualización del movimineto de las agujas vamos a sustituir el Disco Segundero por una aguja corriente.

Para crear este mecanismo lo haremos de la segunda de las formas que comentábamos al principio, introduciendo todas las piezas que incluyamos en la simulación desde el principio, porque si introducimos el péndulo como un subensamblaje dentro del ensamblaje que sería el resto del reloj o lo que llamábamos “tren de engranajes”, CATIA en principio lo considera rígido, y si lo flexibilizamos, lo incorpora al árbol como un segundo mecanismo, que no se puede animar simultáneamente con el primero, que sería el tren de engranajes. Con los otros 2 subensamblajes no hay problema porque nos interesa que sean rígidos.

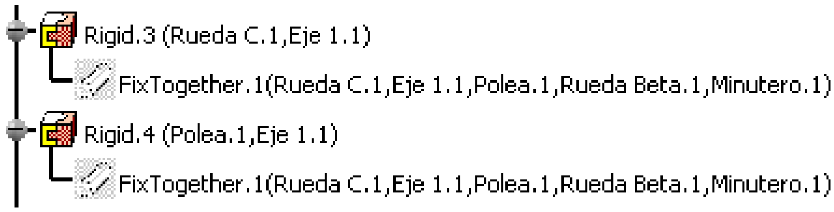
Por ejemplo se muestra un extracto del árbol donde aparece la unión del tipo “engranaje” o “gear” que se establece entre los ejes 1 y 2, que se compone a su vez de 2 “uniones de revolución” o “revolute joints”.



Si además desplegamos estas “uniones de revolución”, vemos como estas se componen de 2 restricciones o “Constraint” de las que usábamos en Assembly.



En este otro extracto del árbol , se muestran “uniones rígidas” o “Rigid Joints”, con las que conseguimos por ejemplo que los engranajes y la polea se muevan solidarios a los ejes.



Además de las ya vistas funciones para el péndulo, usamos las siguientes funciones de simulación de movimiento para el resto de grados de libertad conductores:

$$para\ el\ giro\ del\ Eje\ \mathbf{1}: \omega = \frac{\mathbf{360^o}}{hora}$$

$$para\ el\ giro\ del\ Eje\ \mathbf{5}: \omega = \frac{\mathbf{12^o}}{hora}$$

$$para\ el\ giro\ del\ eje\ LM\ : \omega = \frac{Angulo\ de\ Palas}{\mathbf{2}} \cdot seno(\mathbf{180}t + \mathbf{90^o}) - \mathbf{25.09^o}$$

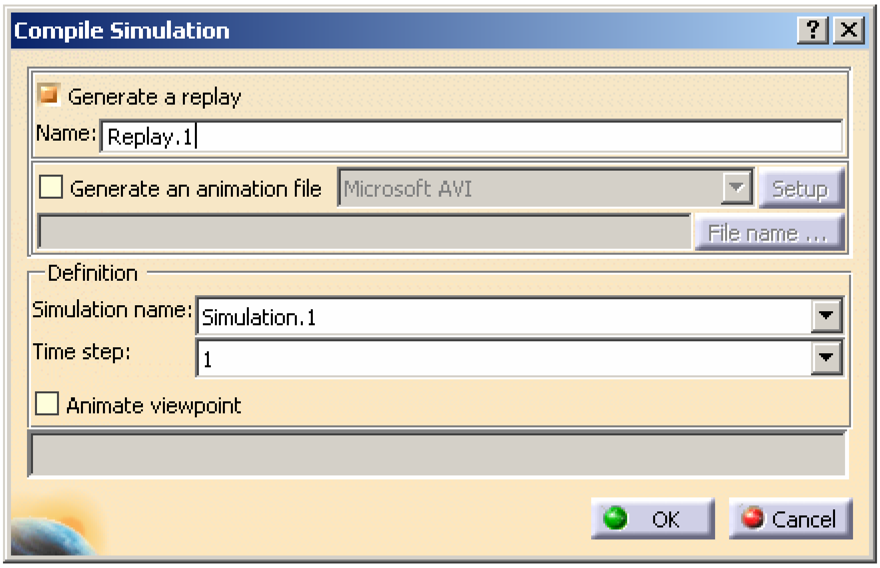
El eje 1, obviamente ha de moverse a esa velocidad pues da los minutos, y el minutero da una vuelta por hora. El eje 5 se mueve a esa velocidad simplemente deduciéndolo de las relaciones de transmisión entre ejes y se ha tenido que usar ese grado de libertad como conductor por la imposibilidad de definir una “Union de Engranajes” entre ejes perpendiculares. Por otro lado, recordar que en el apartado

6.3.6 Eje LM con paletas, vimos que el "Angulo de Palas" era igual a la amplitud del movimiento periódico de la varilla S.

Realmente se ha usado una fórmula más, que dice que el ángulo de la varilla S es igual a 0, esto es así porque en vez de usar una unión rígida con el Eje LM, hemos definido un "unión de revolución", a la que le decimos que no hay giro.

Se ha generado un video llamado "Tiempo Real", en el que se muestra una simulación del reloj en tiempo real, es decir, el periodo del movimiento del péndulo es de 2 segundos..

Para conseguir simulaciones en tiempo real lo que hacemos es capturar tantos "Steps" como segundos tenga la animación, porque CATIA inserta un "Step" cada segundo y después a la hora de compilar el video, disminuimos lo que CATIA llama "Time Step":



el inverso de ese número es el número de “Steps” de interpolación que CATIA introduce entre cada uno capturado al editar la simulación, y éstos no hacen más que mejorar la calidad del video, con el consecuente aumento de tamaño del archivo, sin aumentar la duración de la película.