

Verificación de equivalencia de marcos iniciales con el fenómeno del movimiento en un plano inclinado

Barrón Jiménez, Isaac Gómez Arias, Andrés Nellen Mondragón, Stefan Daniel
Sánchez Alvarado, Sergio Jonathan

4 de abril de 2017

Resumen

Mediante distintos puntos de referencia iniciales se hizo la observación del desplazamiento bidimensional de un deslizador en un riel de aire, siendo el último posicionado a distintos grados de inclinación con respecto del suelo. Se obtuvieron los datos del experimento con el software Tracker, mismos para los que el análisis se realizó en paralelo, con el mismo software y, con un programa escrito en Python. El objetivo de esta práctica es comprobar que los marcos de referencia iniciales son equivalentes, por más distintos que pretendan ser. Además se pretende verificar si la modelación en un ámbito de laboratorio en el que se desprecia la resistencia del aire es satisfactoria. Se conluyeron varias cosas: la fricción del aire importa más de lo que parece, la inclinación en las mesas y salones de la FC es muy grande y que la prueba de equivalencia de marcos de ref. resulta ser inconclusa.

1. Introducción

Los sistemas de referencia en la física resultan ser de mucha importancia debido a que la información que se puede obtener de un fenómeno físico depende en gran parte del sistema de referencia que se considere al momento de su estudio. Es por esto mismo que a menudo cuando se trabaja con un cierto fenómeno se considere al sistema que facilitó su estudio, ya sea haciendo más sencilla la tarea de obtener datos, o incluso 'transformar' el mismo fenómeno que se está estudiando a algo quizás más simple (como ejemplo, la figura 1).

Esto último es algo que ocupa en parte este texto. Debido a que el hecho de cambiar el sistema de referencia con el que se está trabajando puede 'cambiar' de cierta manera al fenómeno mismo, es común preguntarse cómo es que cambian las ecuaciones matemáticas dependiendo del sistema que se tome y si en un sistema inercial estas son equivalentes.

Para resolver estas preguntas, este experimento tratará, con el movimiento de un deslizador en un plano inclinado, de mostrar cómo es que, dependiendo del sistema que se considere, las ecuaciones que describen el movimiento del deslizador podrían cambiar, aún cuando se trata, en esencia de exactamente el mismo fenómeno físico.

Esto es importante e interesante, ya que no siempre es intuitivamente claro que un modelo inercial que describe a un fenómeno físico es equivalente a otro modelo en un marco de referencia inercial. Al realizar este experimento se tendrá una prueba de equivalencia de los modelos con los que se trabaja, tanto teórica como experimental. Además, tener información conclusiva sobre los efectos de la fricción resultará útil, pues es cómodo pensar que no existe.

A continuación se dará una breve introducción a los 3 modelos utilizados que describen el movimiento desde los 3 sistemas de referencia. En cada modelo θ es el ángulo de inclinación de la rampa.

Marco teórico

Como se mencionó, la práctica se divide en tres secciones. Para cada sección se crea un modelo, que da a conocer las ecuaciones de movimiento de nuestro sistema. Se considera un sistema ideal, ya que ningún modelo toma en cuenta la resistencia del aire.

Modelo 1

En este modelo se encuentra el observador en un punto estático z_0 en el sistema tridimensional del laboratorio, se tendría un vector posición $\vec{r} = (x, y, z)$. Sin embargo, en z no hay movimiento y se conocen las distancias en x , y , por esta razón se considera al fenómeno como uno de movimiento en dos dimensiones. Como el marco de referencia es inercial podemos emplear las Leyes de Newton (el sistema es relativamente sencillo). Sobre el sistema actúan dos fuerzas, puesto a que la fricción con el aire no se toma en cuenta. Son la fuerza normal \vec{N} y el peso $\vec{W} = m\vec{g}$. Aquí el peso sólo tiene componente no cero en y ($-m\vec{g}$), pero la normal tiene componentes no cero en ambas entradas. Se obtiene el vector que da las ecuaciones de movimiento de la siguiente forma:

$$\vec{r}(t) = \left(\begin{array}{c} \frac{1}{4}gt^2 \sin(2\theta) \\ -\frac{1}{2}gt^2(\sin(\theta))^2 \end{array} \right)$$

Esta ecuación se obtiene usando la Segunda Ley de Newton y unas identidades trigonométricas. Se tiene que:

$$\sum F_x = ma_x = N \sin(\theta)$$

y

$$\implies N = \frac{ma_x}{\sin(\theta)}$$

$$\sum F_y = ma_y = N \cos(\theta) - mg$$

además como

$$\begin{aligned} \tan(\theta) &= \frac{-a_y}{a_x} \implies a_x \tan(\theta) = -a_y \\ \implies N &= -\frac{ma_y}{\sin(\theta) \tan(\theta)} = \frac{-N \cos(\theta) + mg}{\sin(\theta) \tan(\theta)} \\ \implies N \sin(\theta) \tan(\theta) &= -N \cos(\theta) + mg \\ \implies N(\sin(\theta) \tan(\theta) + \cos(\theta)) &= mg \\ \implies N = \frac{mg}{\cos(\theta) + \sin(\theta) \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)}} &= \frac{mg}{\frac{\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta)}{\cos(\theta)}} \\ \implies N &= mg \cdot \cos(\theta) \end{aligned}$$

$$\implies a_x = g \cos(\theta) \sin(\theta) = \frac{1}{2} g \sin(2\theta)$$

$$\implies a_y = g \cos^2(\theta) - g = -g \sin^2(\theta)$$

y como $\vec{v}_0 = \vec{0}$ y $x_0 = y_0 = 0$ queda la ecuación de \vec{r} presentada anteriormente, pues $\vec{r} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}t + \vec{r}_0$ (la aceleración es constante).

Modelo 2

En este modelo, el vector de posición $\vec{r} = (x, y, z) = (x, 0, z_0)$, la entrada en z no varía nunca y como la cámara se inclina lo mismo que el plano la entrada en y no sólo es constante, sino que 0 en cualquier momento. Como en el modelo anterior, se trata de un marco de referencia inercial, por lo que se pueden emplear las Leyes de Newton. Sólo hay dos fuerzas: la fuerza normal y el peso, pues la resistencia del aire se considera nula. Se obtiene que:

$$r(t) = \frac{1}{2}gt^2 \sin(\theta)$$

o en dos dimensiones:

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}gt^2 \sin(\theta) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Se obtiene la ecuación usando la Segunda Ley de Newton.

$$\sum F_x = mg \sin(\theta)$$

$$\sum F_y = mg \cos(\theta) - N = 0 \implies a_y = 0$$

Como la aceleración es constante se tiene $\vec{r} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}t + \vec{r}_0$, pero $\vec{v}_0 = \vec{0}$ y $\vec{r}_0 = \vec{0}$.

$$\implies a_x = g \sin(\theta)$$

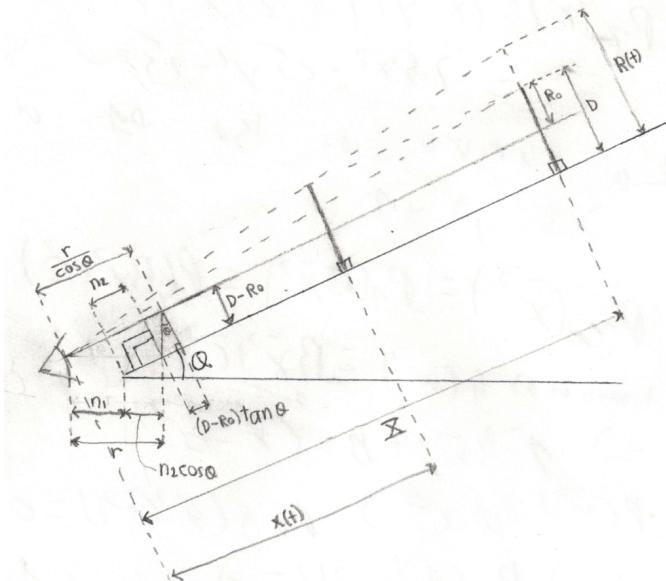
y

$$\implies a_y = 0$$

Con esto se obtiene el $\vec{r}(t)$ presentado.

Modelo 3

El último modelo también es unidimensional. Sin embargo, como la cámara observa al palo de frente, lo que verá y lo que mide va a ser que el palo sujetado al aparato en movimiento cambia de tamaño. Subsecuentemente las ecuaciones de movimiento darán la altura desde el rayo de incidencia ortogonal al lente. Será útil observar el siguiente esquema.



Explicación de los parámetros: θ es el ángulo de inclinación de la rampa, n_1 es la distancia horizontal de la cámara a la base del riel, n_2 es la longitud entre el borde del riel y la liga que detiene al carrito, r es la proyección horizontal de la distancia de la cámara al punto final de la trayectoria del carrito (la liga que lo detiene), P es la longitud del riel que recorre el palo (de liga a liga), R_0 es la posición inicial del palo poniendo el sistema de coordenadas en el centro de la imagen, X es la distancia de la cámara al carrito en su posición inicial, $x(t)$ es la posición de la varilla en el eje del plano inclinado, es decir, el modelo del segundo sistema de referencia, y $R(t)$ es la posición vertical de la punta del palo desde la perspectiva de la cámara. Con esto, se puede hacer el siguiente desarrollo:

$$X = P - (D - R_0)\tan(\theta) + \frac{r}{\cos(\theta)} = P + (R_0 - D)\tan(\theta) + \frac{r}{\cos(\theta)} = P + \frac{(R_0 - D)\sin(\theta) + r}{\cos(\theta)}$$

Ahora se emplea el Primer Teorema de Tales, que aplicado aquí dice que

$$\begin{aligned} \frac{R(t)}{X} &= \frac{R_0}{X - x(t)} \\ \Rightarrow R(t) &= \frac{X R_0}{X - x(t)} \end{aligned}$$

y como $x(t) = \frac{1}{2}gt^2$, se substituye en la ecuación

$$\begin{aligned} R(t) &= \frac{\left(\frac{P\cos(\theta)+(R_0-D)\sin(\theta)+r}{\cos(\theta)}\right)R_0}{\frac{P\cos(\theta)+(R_0-D)\sin(\theta)+r}{\cos(\theta)} - \frac{\frac{1}{2}gt^2\sin(\theta)\cos(\theta)}{\cos(\theta)}} \\ \therefore R(t) &= \frac{(P\cos(\theta)+(R_0-D)\sin(\theta)+r)R_0}{P\cos(\theta)+(R_0-D)\sin(\theta)+r-\frac{1}{4}gt^2\sin(2\theta)} \end{aligned}$$

Ahora, este modelo sería el que mejor describe el fenómeno, pero el hecho de que la "pendiente" (o parámetro que define la inclinación variable de la curva) de la ecuación esté dada por R_0 , su posición inicial al poner el origen en el centro de la imagen, hace que éste modelo sea muy exigente en cuanto a la exactitud en la que la inclinación de la cámara coincide con la inclinación de la rampa, pues con sólo el signo de ese parámetro, el modelo puede cambiar drásticamente. Esta exactitud esencial no fue posible en el experimento, ya que encontramos muchas fuentes en las cuales podría haber una medición de ángulo incorrecta (la mesa estaba inclinada, había medidas inconsistentes con el angulímetro, el edificio mismo tenía una inclinación). Además, el modelo no funciona si hay un desajuste en la inclinación de la cámara con la inclinación de la recta específico. Pues, incluso con desajustes muy pequeños se podría ver el efecto de que la varilla puede empezar abajo del eje x y luego terminar por arriba de éste, lo que es imposible en el modelo; nunca hay un cambio de signo. Por ello se decidió normalizar la "pendiente" del modelo con un factor invariable entre experimentos: D , la longitud de la varilla, que sería R_0 si la cámara estuviera exactamente en el eje del plano y exactamente con su misma inclinación, por eso tiene sentido tomarlo. Además, para ajustar la posición inicial con el modelo, se sumó otro parámetro, que en teoría debería de ser irrelevante, pues tiene que ver con la elección del origen.

Así, el modelo que más se apega al ideal, pero que es flexible en cuanto a desajustes de inclinación está dado por:

$$R(t) = \frac{D}{1 - \frac{a}{X}t^2} + R_0 - D$$

Que es un modelo de la forma

$$R(t) = \frac{D}{1 - At^2} + R_0 - D$$

con $A = \frac{a}{X}$

Prueba matemática de equivalencia de modelos

Porque el segundo modelo es el más sencillo se probará que los otros dos modelos son equivalentes a este, lo que implica que estos también son equivalentes entre sí. Para esto se busca una parametrización, que nos dé el vector de posición $\vec{r}(t)$ del segundo modelo. Para obtener este se tendrá que expandir el vector posición de los dos modelos unidimensionales a uno bidimensional, donde ya sea $x = 0$ o $y = 0$.

Para la equivalencia del primer al segundo modelo basta con multiplicar $\vec{r}_1(t)$ por una matriz de rotación bidimensional.

$$\vec{r}_2(t) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{4}gt^2\sin(2\theta) \\ -\frac{1}{2}gt^2(\sin(\theta))^2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
\Rightarrow \vec{r}_2(t) &= \left(\frac{1}{4}gt^2 \sin(2\theta) \cos(\theta) - \frac{1}{2}t^2 \sin^2(\theta) \cdot (-\sin(\theta)) \right) \\
\Rightarrow \vec{r}_2(t) &= \left(\frac{1}{4}gt^2 \sin(2\theta) \sin(\theta) - \frac{1}{2}gt^2 \sin^2(\theta) \cos(\theta) \right) \\
\Rightarrow \vec{r}_2(t) &= \left(\frac{1}{2}gt^2 \sin(\theta) \cos^2(\theta) + \frac{1}{2}gt^2 (1 - \cos^2(\theta)) \sin(\theta) \right) \\
\Rightarrow \vec{r}_2(t) &= \left(\frac{1}{2}gt^2 \sin^2(\theta) \cos(\theta) - \frac{1}{2}gt^2 \sin^2(\theta) \cos(\theta) \right) \\
\Rightarrow \vec{r}_2(t) &= \left(\frac{1}{2}gt^2 \sin(\theta) \cos^2(\theta) - \frac{1}{2}gt^2 \cos^2(\theta) + \frac{1}{2}gt^2 \sin(\theta) \right) \\
\therefore \vec{r}_2(t) &= \left(\begin{array}{c} \frac{1}{2}gt^2 \sin(\theta) \\ 0 \end{array} \right)
\end{aligned}$$

Para la equivalencia del segundo y el tercero modelo hay que $x(t)$ está en la fórmula de $R(t)$. Este se obtiene de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
R(t) &= \frac{XR_0}{X - x(t)} \\
\Rightarrow X - x(t) &= \frac{XR_0}{y(t)} \\
\therefore y(t) &= X - \frac{XR_0}{y(t)}
\end{aligned}$$

El modelo dos es equivalente al modelo uno, y el uno es equivalente al tres. Por lo tanto, los tres modelos son equivalentes. ■

2. Materiales

- Angulómetro, con resolución de 1° .
- Cámara digital.
 - Marca: Fujifilm
 - Modelo: FinePix S1000fd
 - 10 megapixeles
 - Lente óptico.
 - 30 fps
- Tripie de cámara fotográfica.
- Deslizador.
- Regla (1m de longitud) con escala centimétrica.
- Regla (30cm de longitud) con escala milimétrica.
- Compresora de aire (datos desconocidos).
- Riel de aire, del cual se usan $P = 125,2 \pm 0,05$ m para deslizar.
- Nivel.
- Palo de madera, de altura $15,3 \pm 0,05$ cm.

3. Metodología

Primero, se realizó el armado del equipo que se iba a utilizar para el experimento. Se posicionó el riel de aire sobre la mesa del laboratorio, se conectó a la compresora mediante una manguera y se ajustó la última con abrazaderas. En ambos extremos del riel se usaron ligas para evitar que el deslizador cayera al terminar su recorrido. Posteriormente, se adhirió la regla al riel con el fin de tener una cierta longitud de referencia. Y, finalmente, al deslizador se le puso un palo de mader

3.1. Primer sistema de referencia.

En esta sección de la práctica se posicionó la cámara, con ayuda de la retícula y el angulómetro, paralela a la mesa sobre la que estaba el riel. Cuidando de no mover la cámara se tomó video de cada uno de los eventos que se indicaban en la práctica. En total, se tomaron tres vídeos de cada evento. Se seguía el siguiente procedimiento:

1. Se comenzaba a tomar video.
2. Se encendía la compresora.
3. Posteriormente, el deslizador era colocado sobre el extremo del riel con mayor altura.
4. El deslizador se soltaba dejando que se desplazara.
5. Una vez que llegaba al otro extremo y rebotaba debido al impacto con las ligas, se apagaba la compresora.
6. Se recogía el deslizador.
7. Se detenía la grabación.
8. Se repetía el proceso con el fin de tener tres grabaciones por evento.
9. Una vez finalizado el paso anterior se ajustaba la inclinación del riel.
10. La cámara se dejaba fija.
11. Se repetían todos los pasos anteriores.

A medida que el ángulo al que debíamos inclinar el riel iba aumentando, se iba haciendo uso de distintos soportes, como cilindros o cubos de madera, con el fin de poder modificar lo suficiente el ángulo de inclinación.

3.2. Segundo sistema de referencia.

En esta parte de la práctica se cambió el sistema de referencia a uno que, a diferencia del anterior, fuera paralelo al riel. Para lograr esto, simplemente con ayuda del trípode, el angulómetro y la retícula de la cámara, se iba igualando la inclinación de la cámara a la del riel. Al igual que en la sección anterior, se realizaron tres tomas por evento. El procedimiento a seguir en este caso fue muy similar al usado con el primer sistema de referencia, excepto por el inciso 10) en el que, ahora, la cámara sí se inclinaba para mantenerla paralela al riel.

Como para este punto el riel había alcanzado la inclinación máxima solicitada en la práctica desde el inciso anterior, se mantuvo así y se realizaron las tomas desde la inclinación ya mencionada hasta la mínima.

3.3. Tercer sistema de referencia.

Para esta última parte de la práctica, se posicionó la cámara en el extremo inferior del riel. Los diferentes ángulos de inclinación a los que se encontró fueron los mismos que en las secciones anteriores. Se cuidaba que cada que se reajustara la inclinación del riel el extremo inferior permaneciera en su sitio, esto con el propósito de no alterar los ejes de referencia que se usarían en el análisis del video. Al igual que antes, la cámara era reajustada después de cada evento con el fin de mantenerla siempre paralela al riel.

De la misma manera que en la primera sección, se hizo uso de los soportes ya mencionados en dicha sección con el fin de alcanzar la inclinación solicitada.

4. Resultados

4.1. Determinación de Incertidumbres

La cámara utilizada tiene una resolución de video de 640 píxeles. Haciendo un aumento a la imagen de un video cualquiera para observar la cantidad de píxeles que hay en un centímetro de la regla montada en el riel, se puede observar que hay 4 píxeles por cm. Por lo que el error asociado a la medición de la posición en todos los videos es de la mitad de la mínima escala, que es un cuarto de centímetro, es decir $dx = 0,125\text{cm}$. Así también, la cámara grababa con 30fps, por lo que el error asociado a la medición del tiempo en todos los videos es de la mitad de la mínima escala, que es de un treintavo de segundo, es decir $dt = 0,016\text{s}$.

La mitad de la mínima escala del transportador utilizado para medir el ángulo de inclinación fue de $0,5\text{deg}$, pero al convertir los grados a radianes, utilizando la suma en cuadratura, se tiene que $do = 0,0087\text{rad}$.

Todas las mediciones de longitud obtenidas tuvieron un error de medición asociado por la mitad de la mínima escala, dado por $dr_i = 0,05\text{cm}$, excepto por R_0 de la parte 3, que se midió con la cámara y el Tracker.

Se tomó en cuenta también el error asociado a los parámetros de los modelos, dados por la suma de derivadas parciales.

alpha[grad]	da[grad]	theta[rad]	do[rad]	a[cm/s^2]	da[cm/s^2]	b[cm/s^2]	db[cm/s^2]
3	0.5	0.052	0.0087	-26	4.24	1	0.45
6	0.5	0.105	0.0087	-51	4.17	5	0.89
9	0.5	0.157	0.0087	-76	4.06	12	1.32
12	0.5	0.209	0.0087	-100	3.9	21	1.74
15	0.5	0.262	0.0087	-123	3.7	33	2.13
18	0.5	0.314	0.0087	-144	3.45	47	2.51
21	0.5	0.367	0.0087	-164	3.17	63	2.86

Figura 1: Parámetros esperados del primer modelo

Así, en la primera parte, si a está dado por:

$$a = \frac{1}{4} g \sin(2\theta)$$

entonces

$$da = \frac{1}{2} g \cos(2\theta) do$$

si b está dado por:

$$b = -\frac{1}{2} g \sin(\theta)^2$$

entonces

$$db = \frac{1}{2} g \sin(2\theta) do$$

Calculando para cada ángulo con su error asociado do (que es el mismo para todos los ángulos), y utilizando el valor de la gravedad en la ciudad de México (978 cm/s^2) se tiene la Figura 1.

Así, podemos obtener el error asociado los modelos de la parte 1, que son del tipo

$$x = at^2$$

y

$$y = bt^2$$

Por lo que

$$dx^2 = 4a^2 t^2 dt^2 + t^4 da^2$$

y

$$dy^2 = 4b^2 t^2 dt^2 + t^4 db^2$$

alpha[grad]	da[grad]	theta[rad]	do[rad]	a[cm/s^2]	da[cm/s^2]
3	0.5	0.052	0.0087	26	4.26
6	0.5	0.105	0.0087	51	4.24
9	0.5	0.157	0.0087	77	4.21
12	0.5	0.209	0.0087	102	4.17
15	0.5	0.262	0.0087	127	4.12
18	0.5	0.314	0.0087	152	4.06
21	0.5	0.367	0.0087	176	3.98

Figura 2: Parámetros esperados del segundo modelo

Que son diferentes para cada ángulo e instante, por lo que no serán reportados numéricamente, sino representados en las gráficas del modelo como una barra verde.

Ahora, en la segunda parte, si a está dado por:

$$a = \frac{1}{2} g \sin(\theta)$$

entonces

$$da = \frac{1}{4} g \cos(\theta) d\theta$$

Calculando para cada ángulo con su error asociado da (que es el mismo para todos los ángulos), y utilizando el valor de la gravedad en la ciudad de México (978 cm/s^2) se tiene la figura 2.

Podemos también obtener el error asociado al modelo de la parte 2, que es del tipo

$$x = at^2$$

. Por lo que

$$dx^2 = 4a^2 t^2 dt^2 + t^4 da^2$$

Que es diferente para cada ángulo e instante, por lo que no serán reportados numéricamente, sino representados en las gráficas del modelo como una barra verde.

Por último calculamos el error asociado al modelo 3, que es del tipo

$$R = \frac{D}{1 - At^2} + R_0 - D$$

donde D es la longitud de la varilla,

$$A = \frac{a}{x}$$

alpha[deg]	da[deg]	theta[rad]	do[rad]	r[cm]	dr[cm]	Ro[cm]	dRo[cm]	A[s^-2]	dA[s^-2]	X[cm]	dX[cm]
3	1.5	0.052	0.0262	41.88	0.07	8.48	0.13	0.15	0.08	166.78	2.22
6	1.5	0.105	0.0262	41.83	0.08	-9.63	0.13	0.31	0.08	164.64	4.41
9	1.5	0.157	0.0262	41.75	0.09	-0.89	0.13	0.46	0.08	164.91	6.62
12	1.5	0.209	0.0262	41.63	0.1	-3.88	0.13	0.62	0.08	163.69	8.85
15	1.5	0.262	0.0262	41.48	0.11	1.44	0.13	0.77	0.08	164.43	11.12
18	1.5	0.314	0.0262	41.3	0.12	-1.55	0.13	0.93	0.07	163.15	13.42
21	1.5	0.367	0.0262	41.09	0.13	-2.93	0.13	1.08	0.07	162.22	15.77

Figura 3: Parámetros esperados del tercer modelo

y R_0 es la posición inicial. Éstos parámetros también están dados por

$$a = \frac{1}{2}gsin(\theta)$$

(el mismo parámetro que el del modelo 2) y

$$X = P + (R_0 - D)\tan(\theta) + \frac{r}{\cos(\theta)}$$

P es la longitud del riel que recorre el palo (de liga a liga). D es la longitud del palo. r es la proyección horizontal de la distancia de la cámara al punto final del carrito (la liga que lo detiene), por lo que

$$r = n_1 + n_2\cos(\theta)$$

con n_1 la distancia horizontal de la cámara al borde del riel y n_2 la longitud entre el borde del riel y la liga que detiene al carrito.

Por lo que

$$\begin{aligned} dr^2 &= dn_1^2 + \cos(\theta)^2dn_2^2 + n_2^2\sin(\theta)^2d\theta^2 \\ dX^2 &= dP^2 + (dR_0^2 + dD^2)\tan^2(\theta) + dr^2\sec^2(\theta) + d\theta^2[(R_0 - D)\sec^2(\theta) + r\sec(\theta)\tan(\theta)]^2 \\ dA^2 &= \frac{da^2}{X^2} + \frac{a^2}{X^4}dX^2 \end{aligned}$$

Calculando cada parámetro y su error con cada ángulo y errores asociados

$$d\theta = 0,052\text{rad}$$

$$dn_1, dn_2, dP, dD = 0,05\text{cm}$$

$$dR_0 = 0,125\text{cm}$$
 (el error de la calidad de la cámara)

obtenemos los parámetros y sus valores asociados, mostrados en la figura 3.

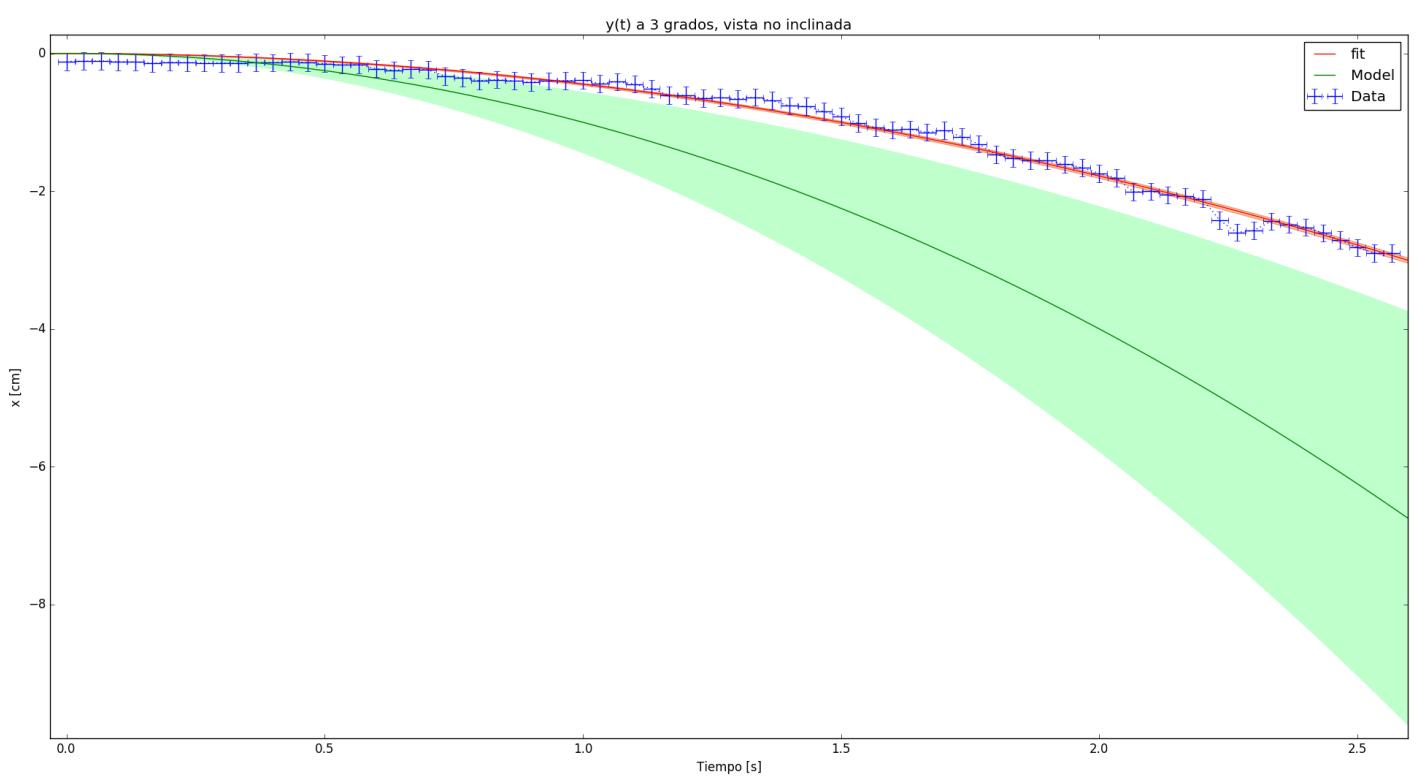
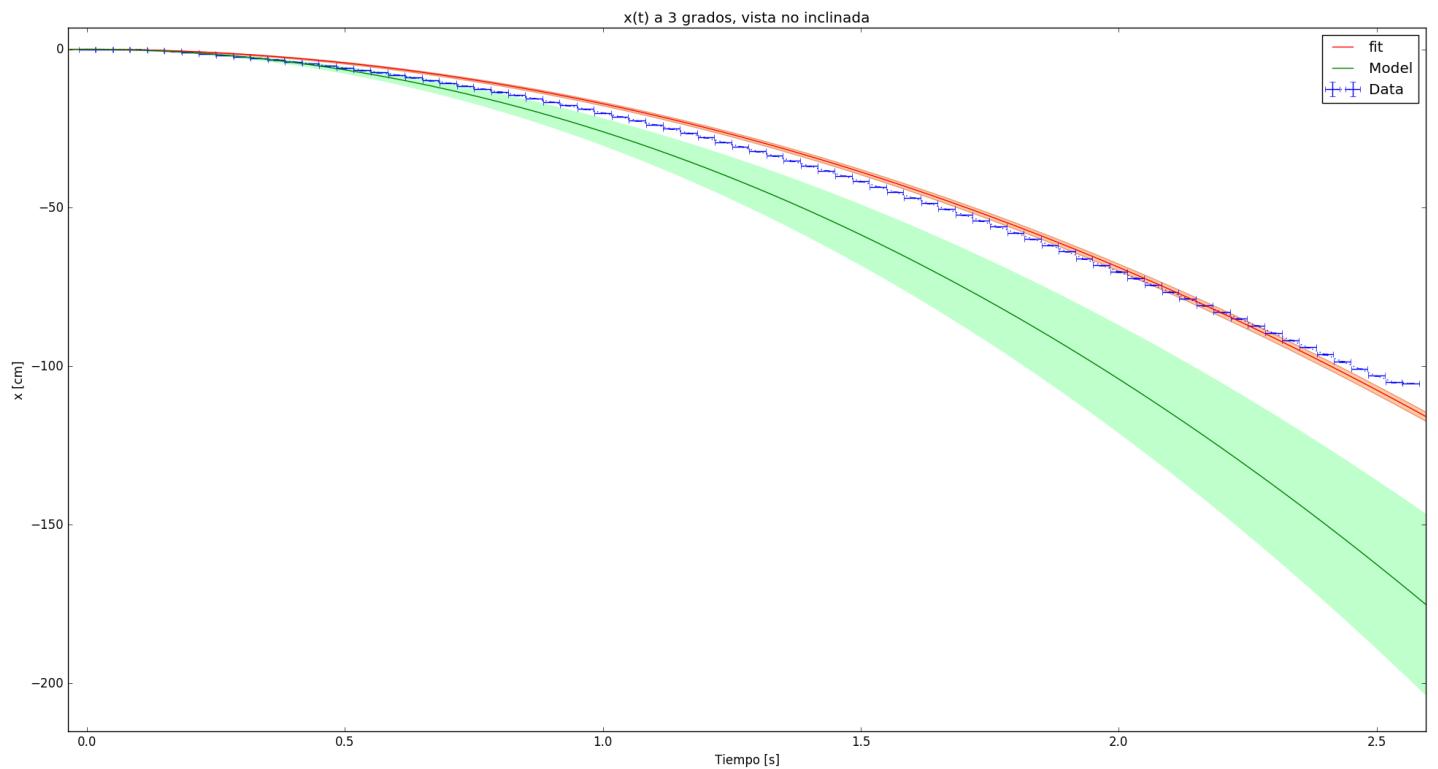
Así podemos calcular el error asociado al modelo de la parte 3

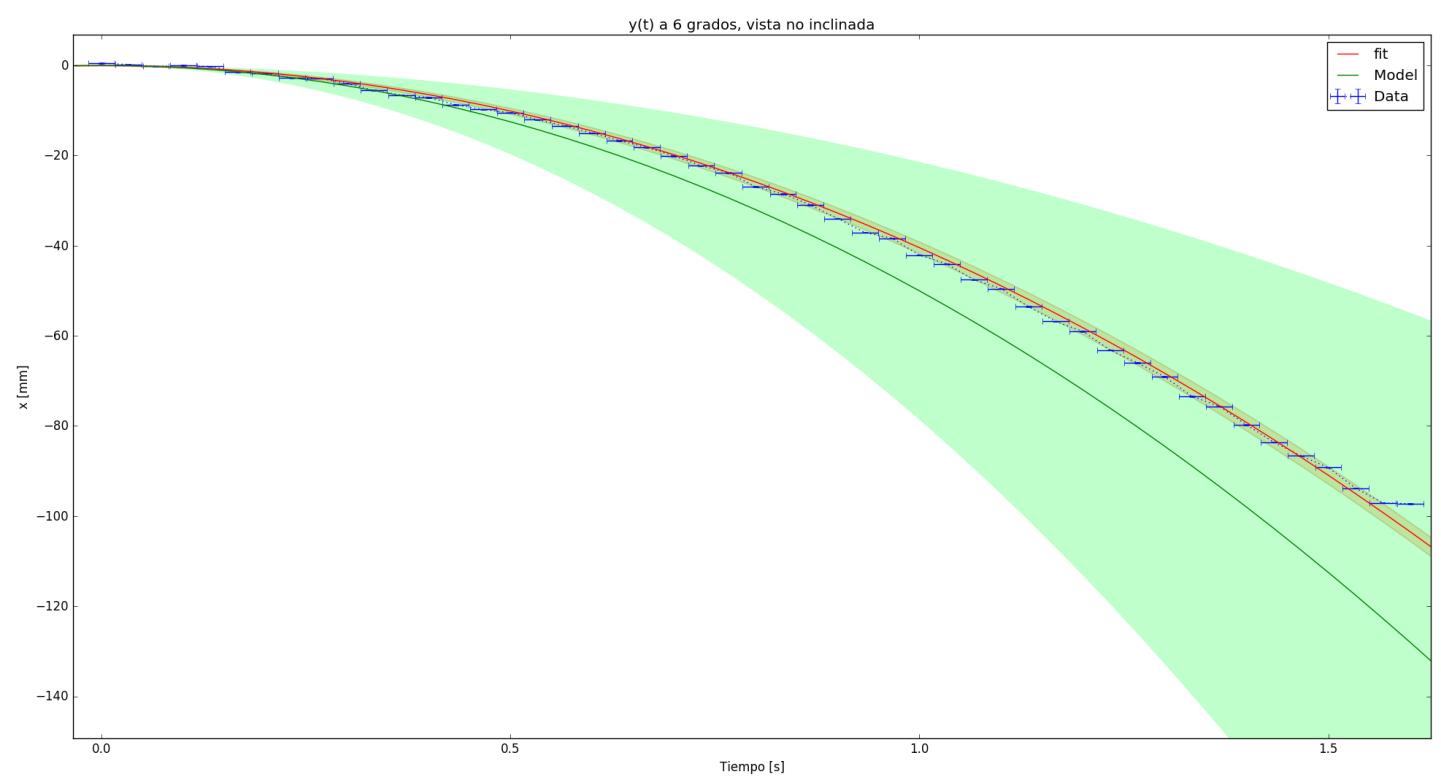
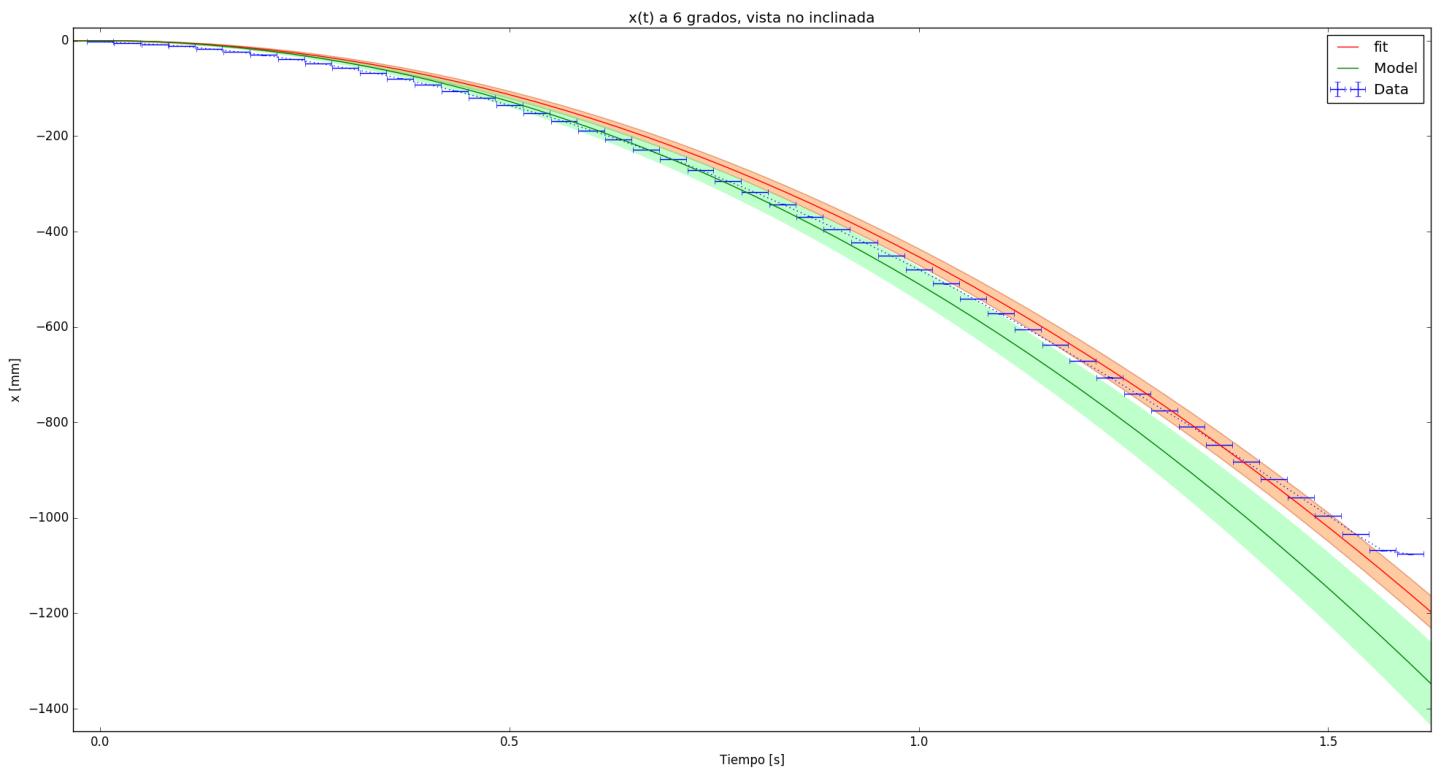
$$dR^2 = \frac{A^2t^4dD^2}{(1 - At^2)^2} + dR_o^2 + \frac{D^2t^4dA^2 + 4A^2D^2t^2dt^2}{(1 - At^2)^2}$$

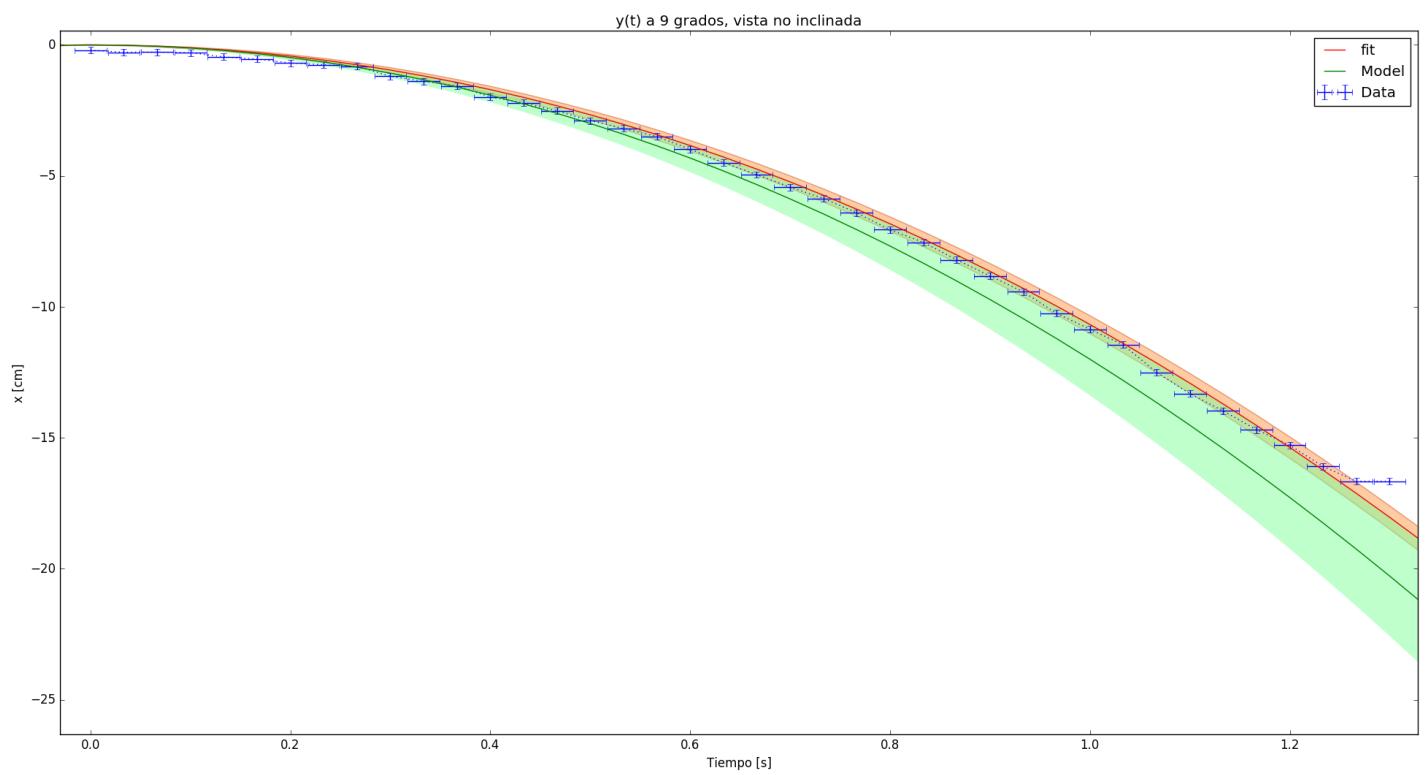
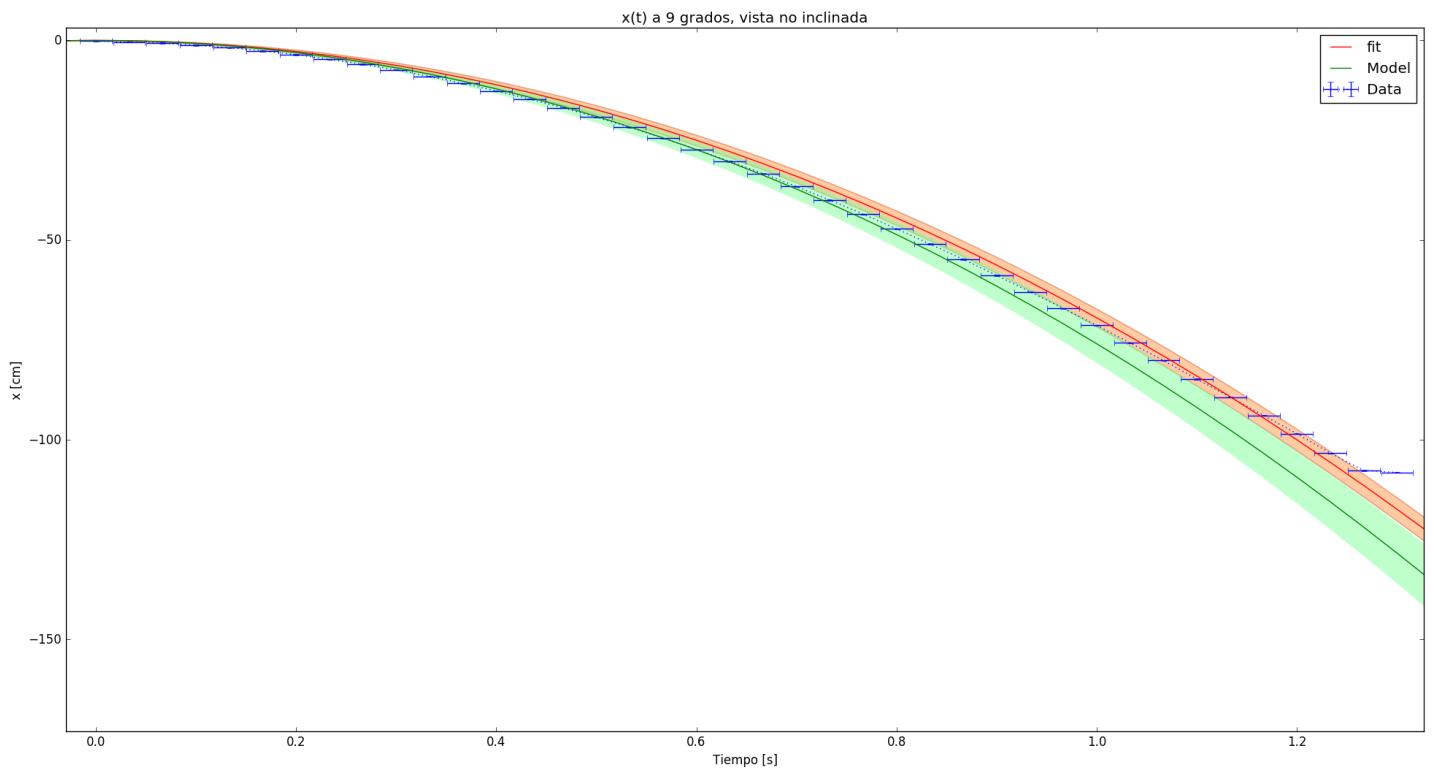
El cual depende de cada ángulo e instante, por lo que sólo será representado gráficamente como una barra verde alrededor del modelo.

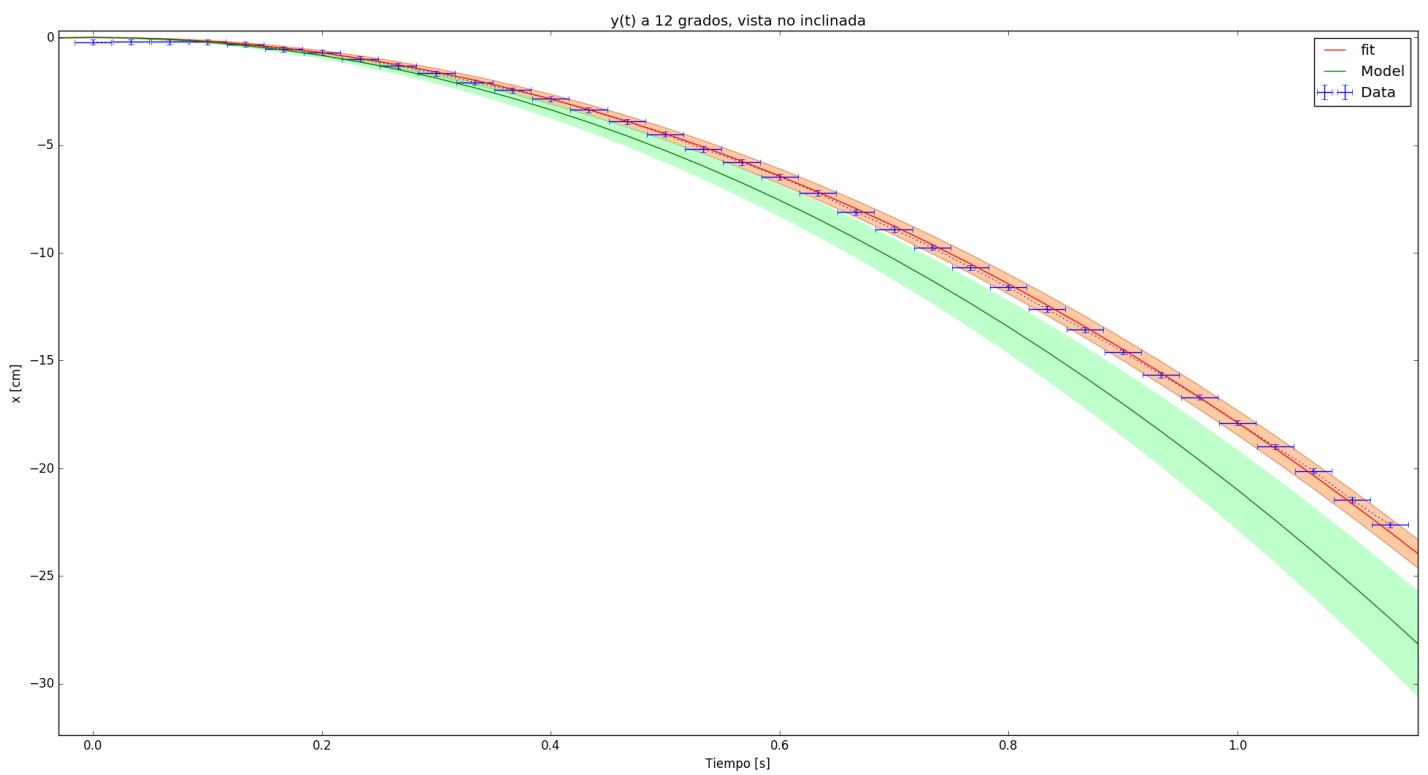
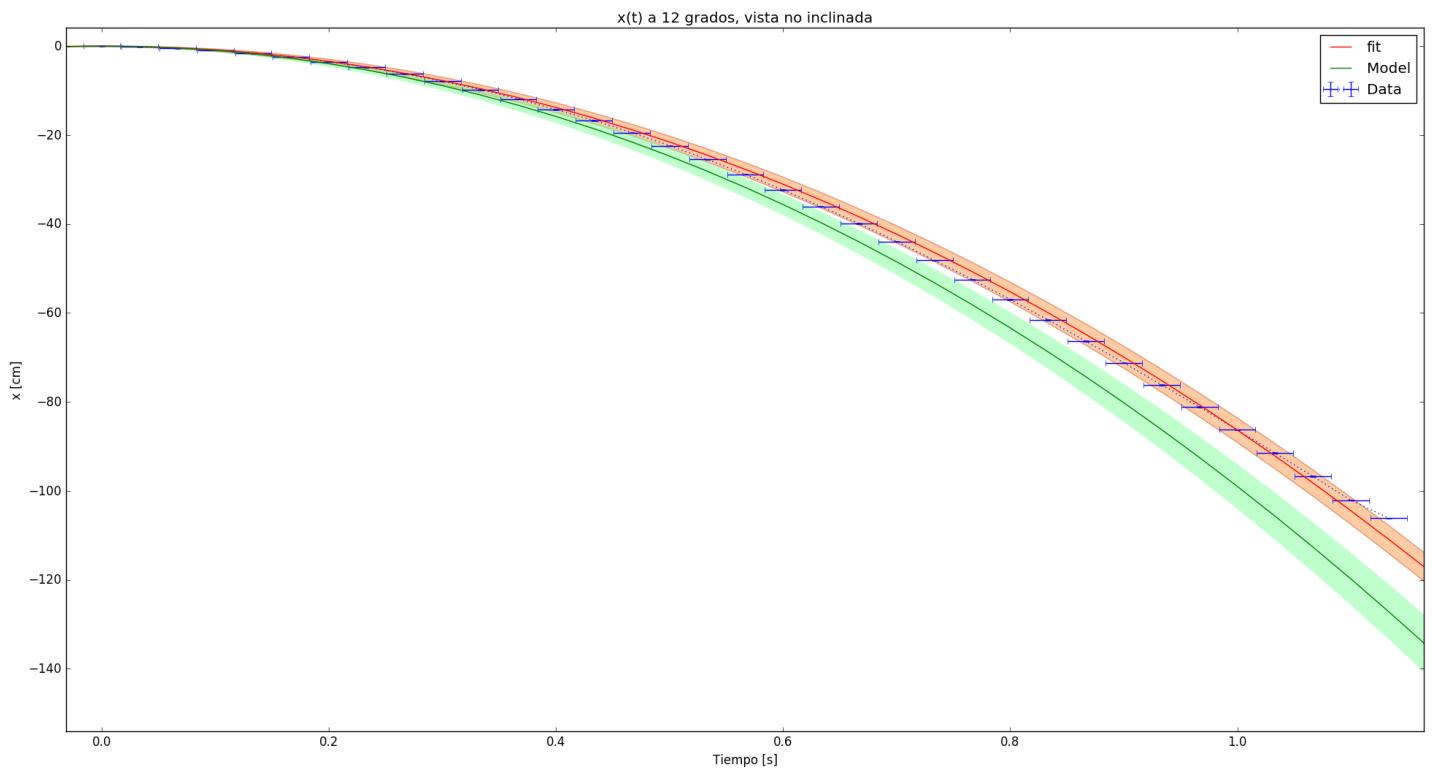
4.2. Gráficas y valores obtenidos

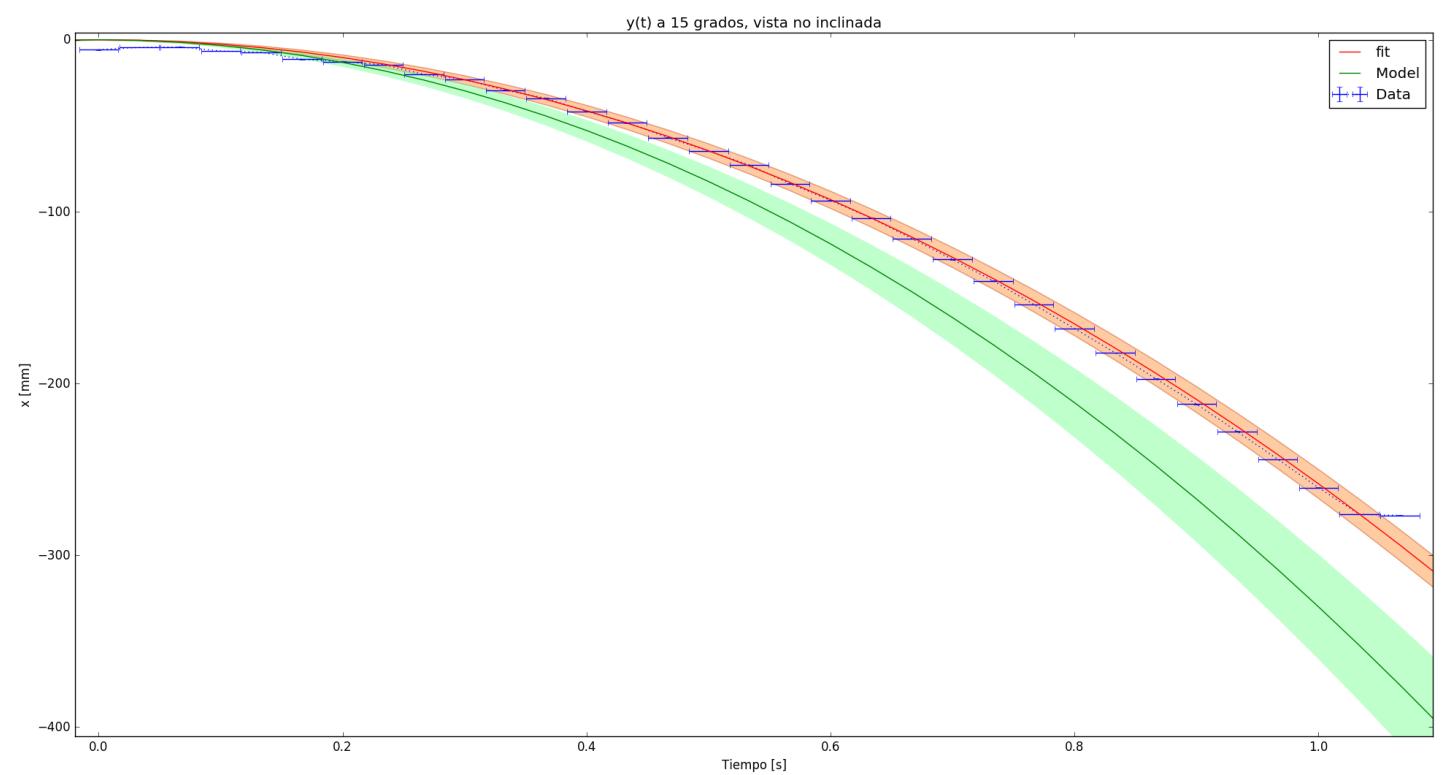
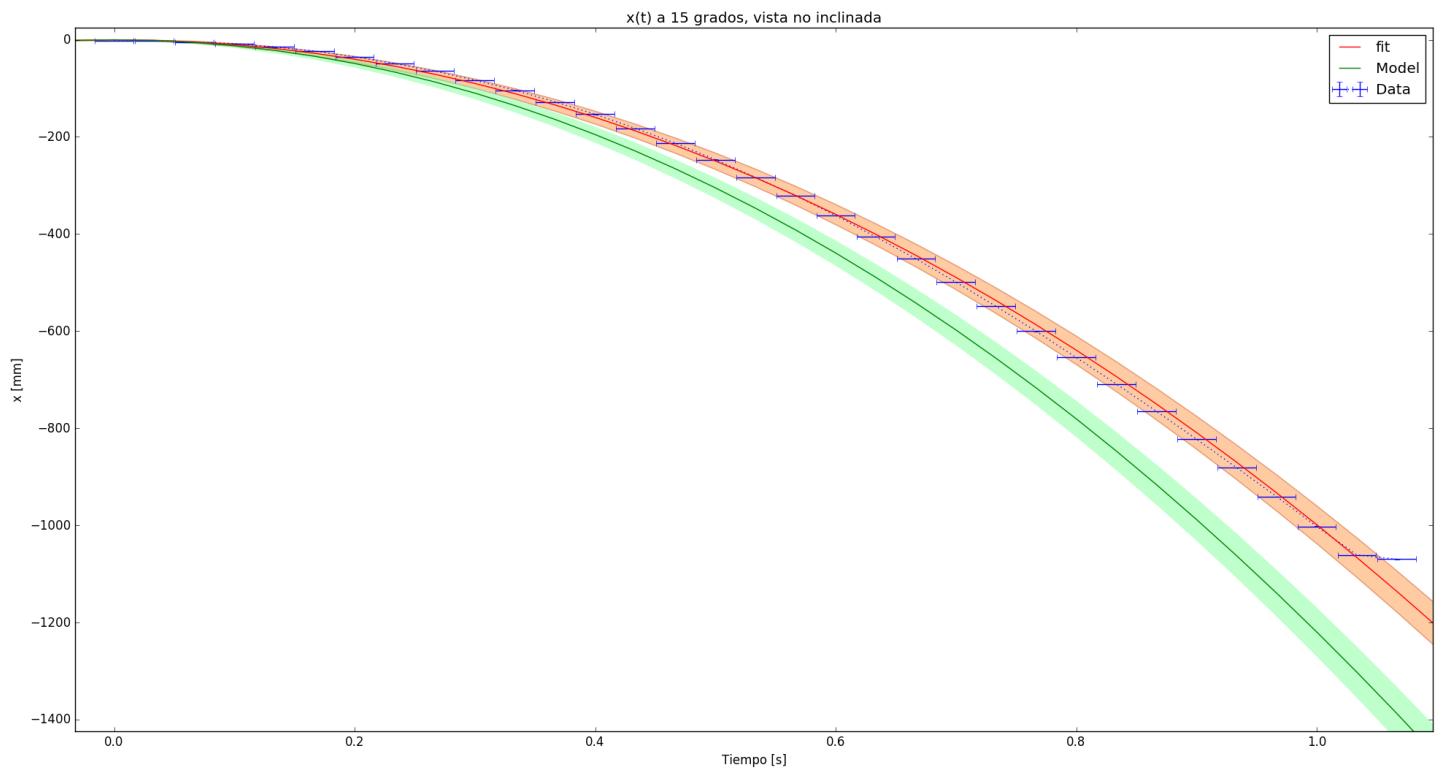
A continuación se muestran las gráficas del primer sistema de referencia, la vista no inclinada o de laboratorio. Se muestran gráficas para cada coordenada x y y . Los puntos con barras azules son los datos obtenidos. La gráfica roja es el fit obtenido por el método de mínimos cuadrados, al cual le fue asociado el error del modelo mediante el error de los parámetros obtenidos, denotado como una barra naranja. La gráfica verde es el modelo con los parámetros esperados, al cual también le fue asociado el error del modelo, denotado como una barra verde.

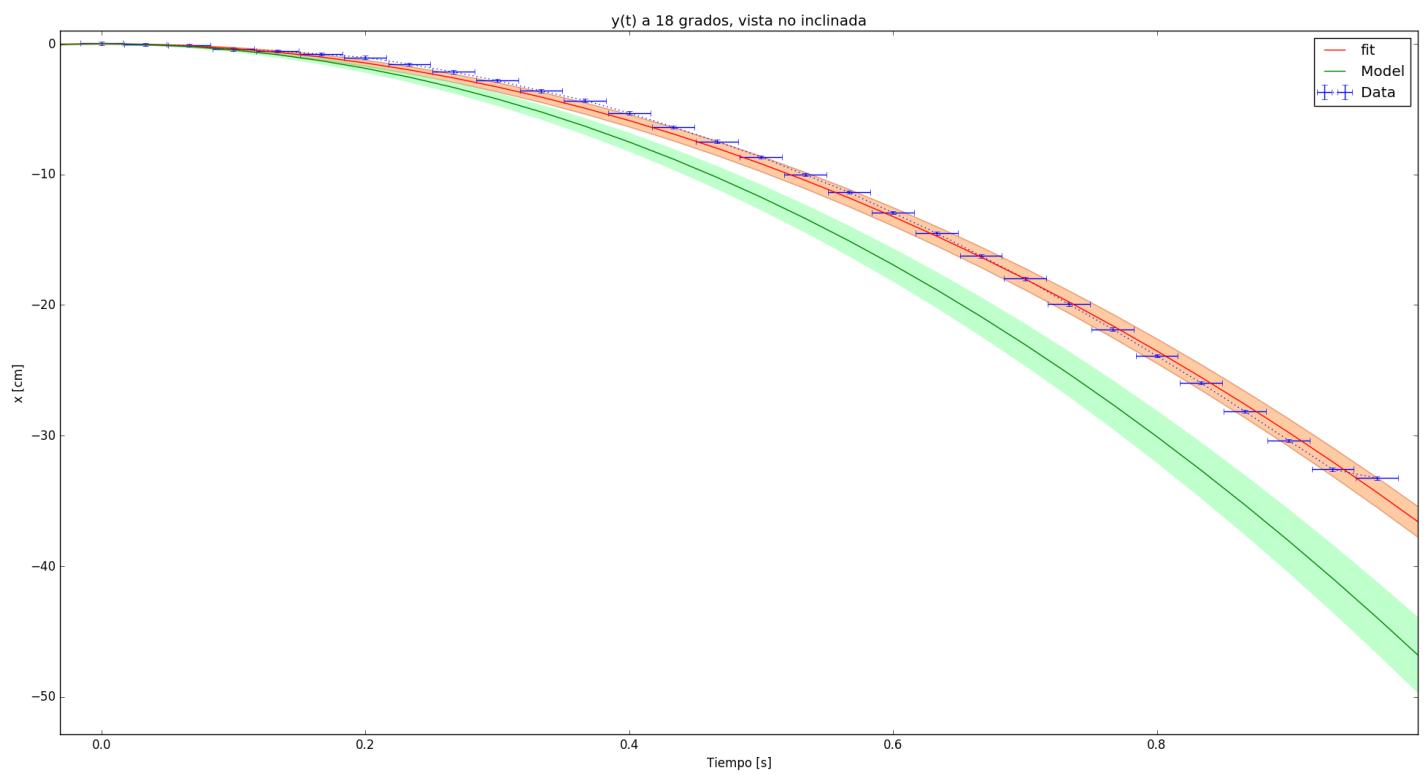
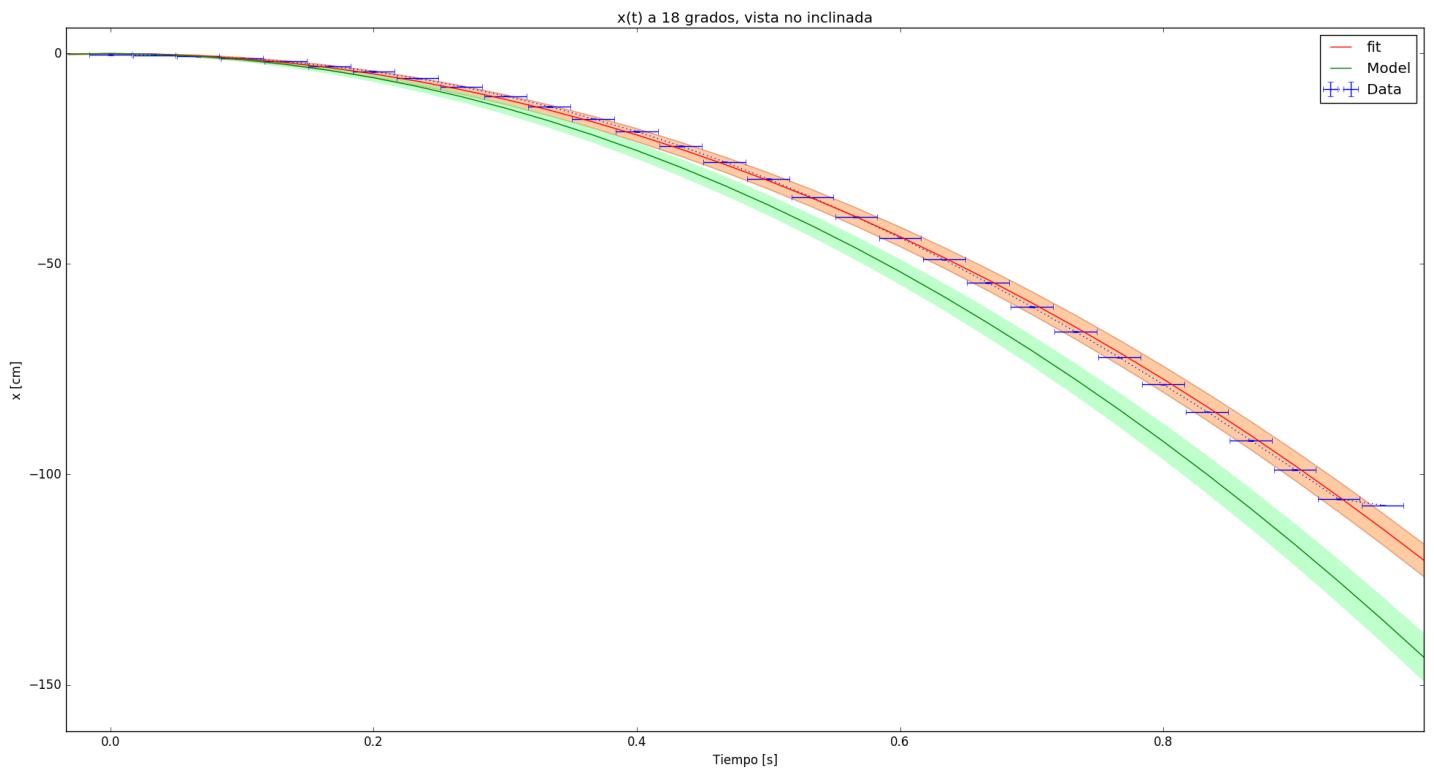


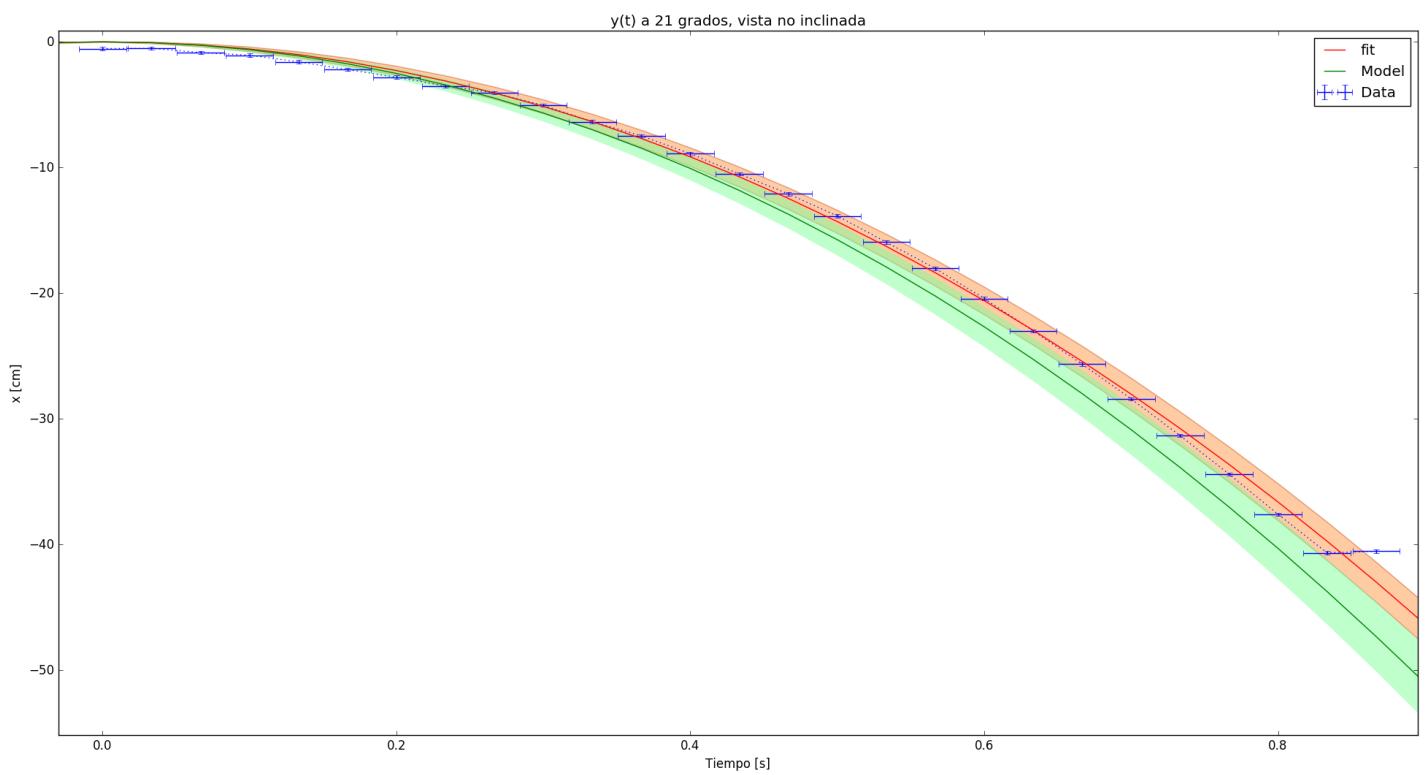
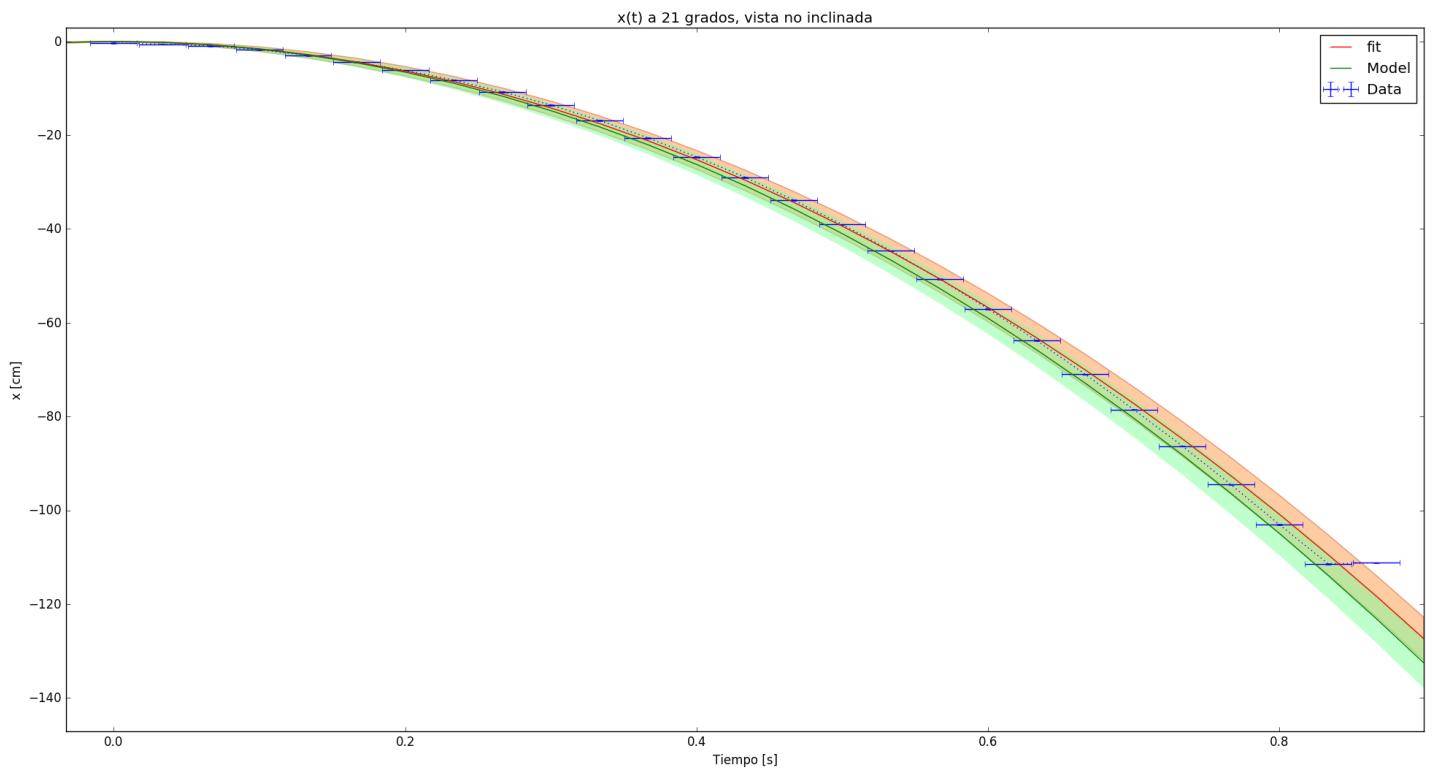










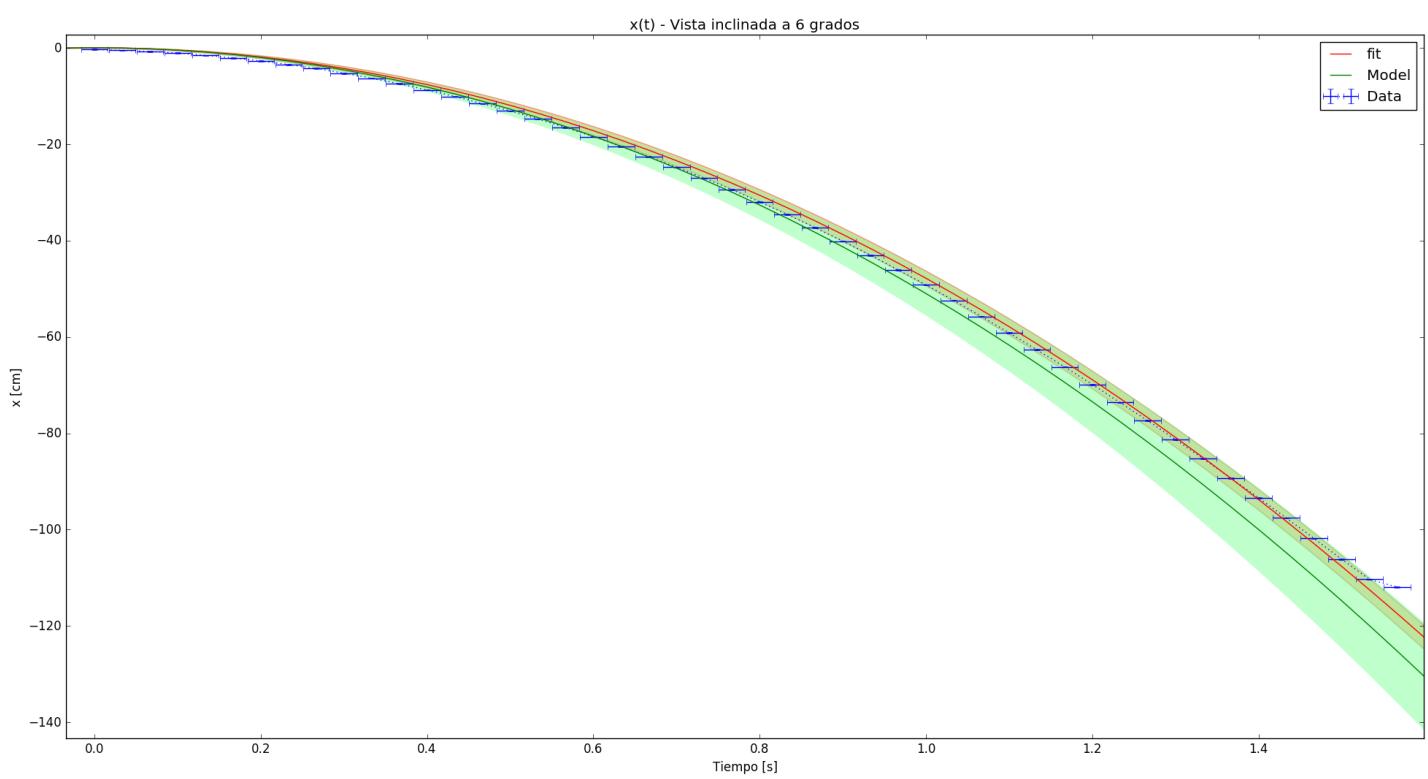
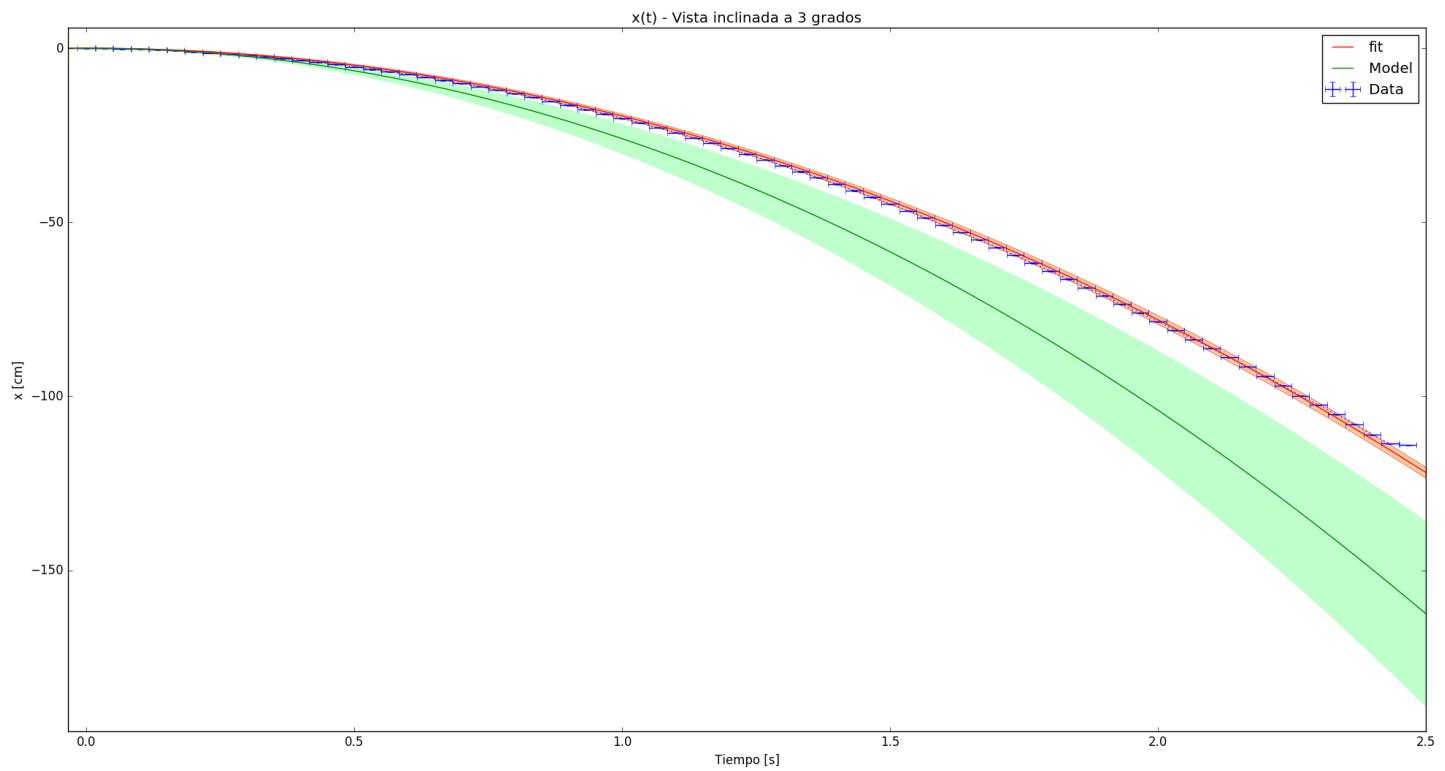


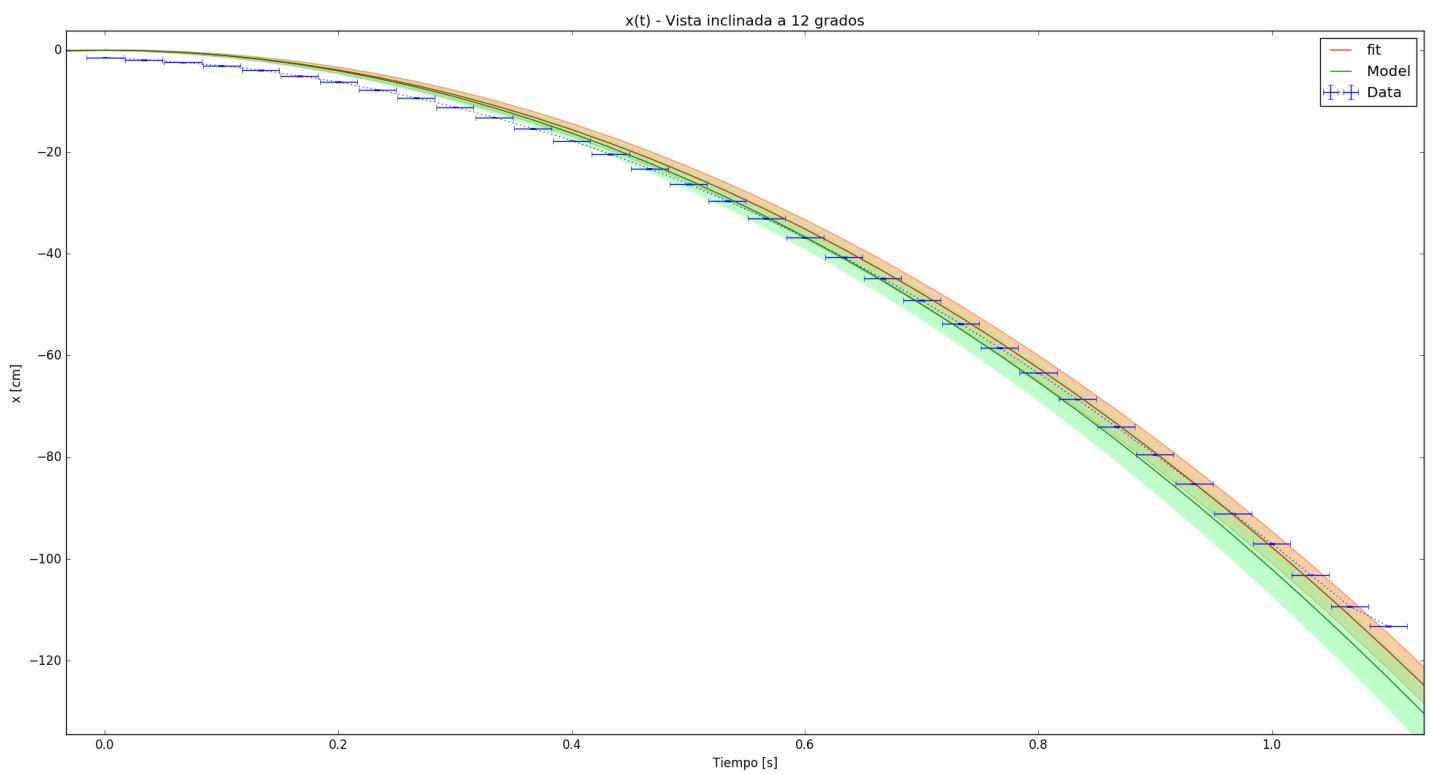
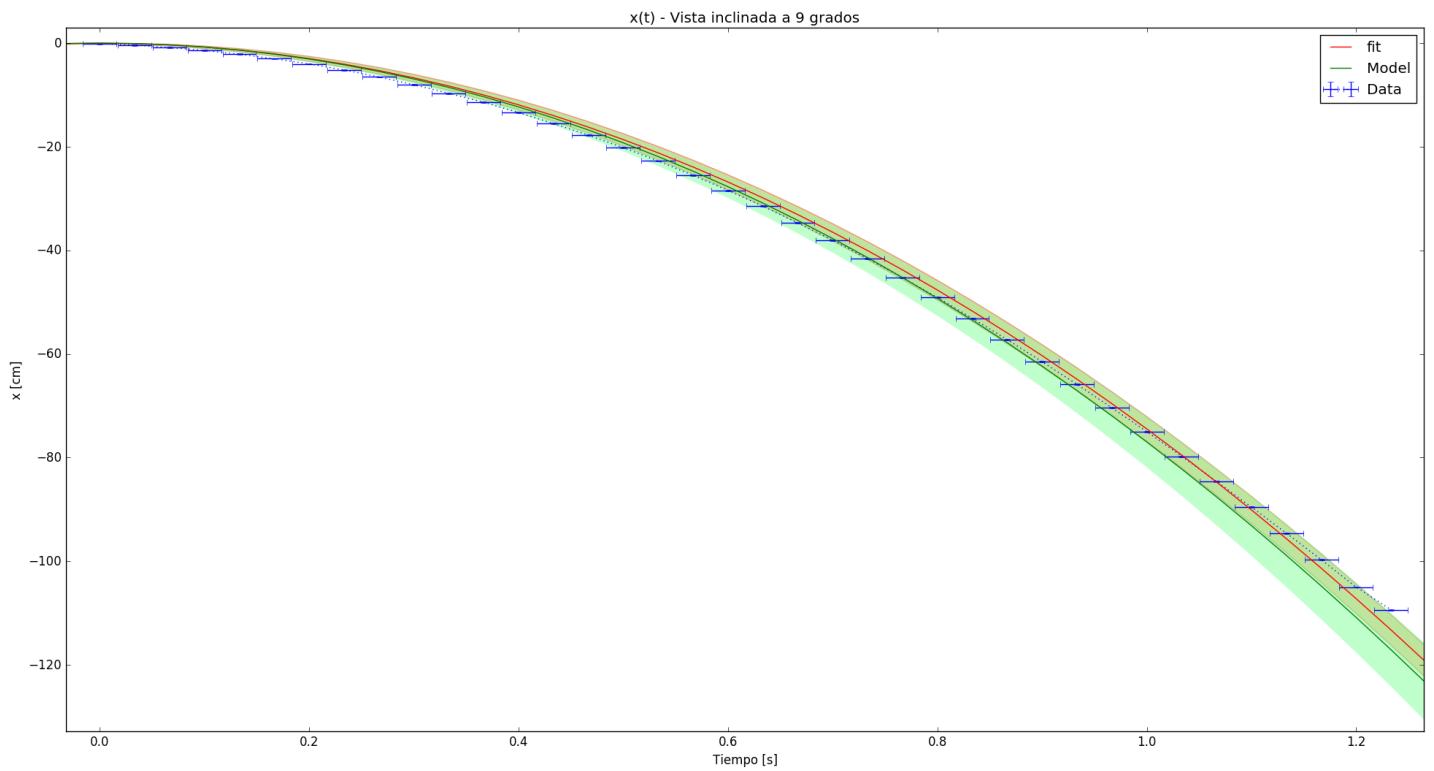
alpha[grad]	da[grad]	theta[rad]	do[rad]	a[cm/s^2]	da[cm/s^2]	b[cm/s^2]	db[cm/s^2]
3	0.5	0.052	0.0087	-17	0.008	0.4	5E-5
6	0.5	0.105	0.0087	-45	0.91	4.0	0.02
9	0.5	0.157	0.0087	-69	0.24	10.6	0.04
12	0.5	0.209	0.0087	-86	0.14	17.8	0.01
15	0.5	0.262	0.0087	-100	2.23	25.8	0.16
18	0.5	0.314	0.0087	-121	0.29	36.7	0.03
21	0.5	0.367	0.0087	-158	0.86	57.2	0.14

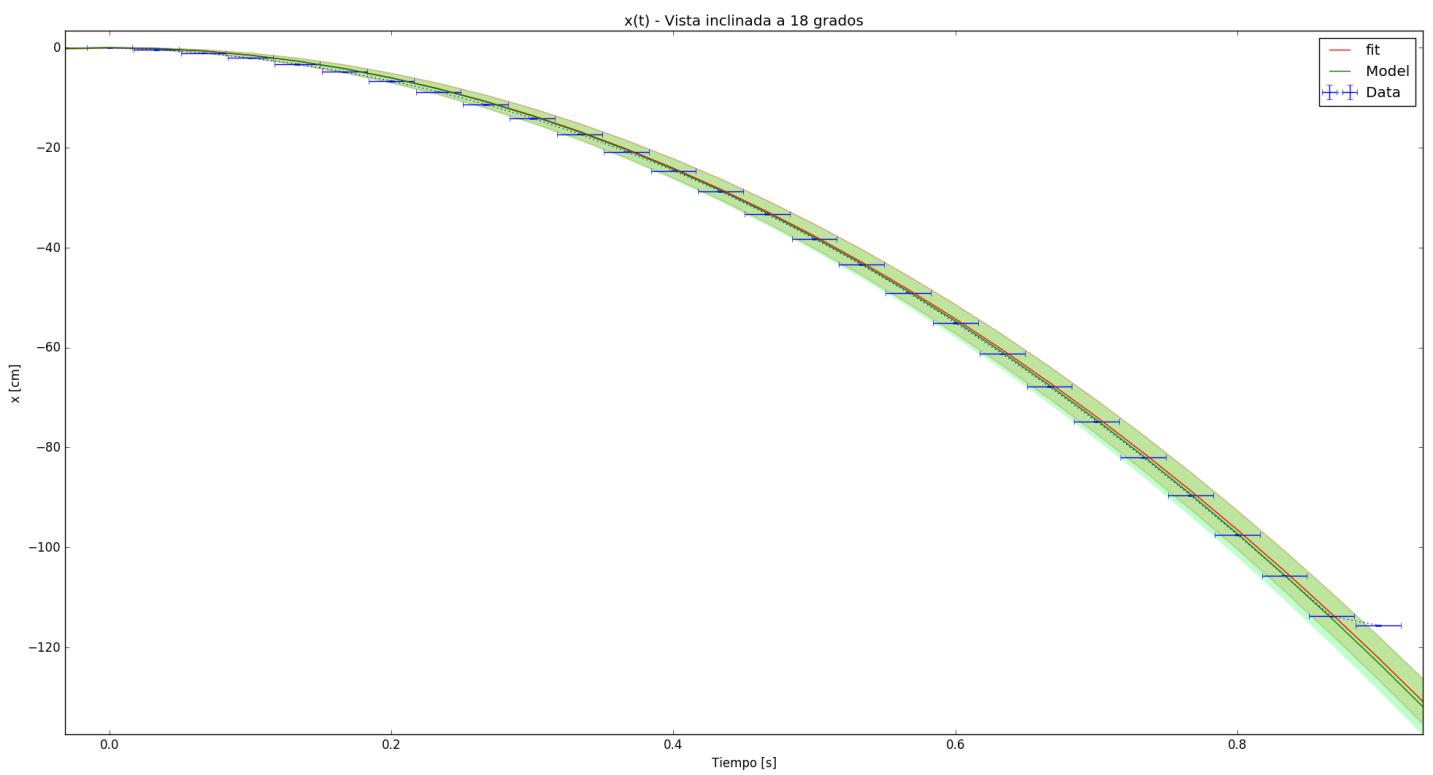
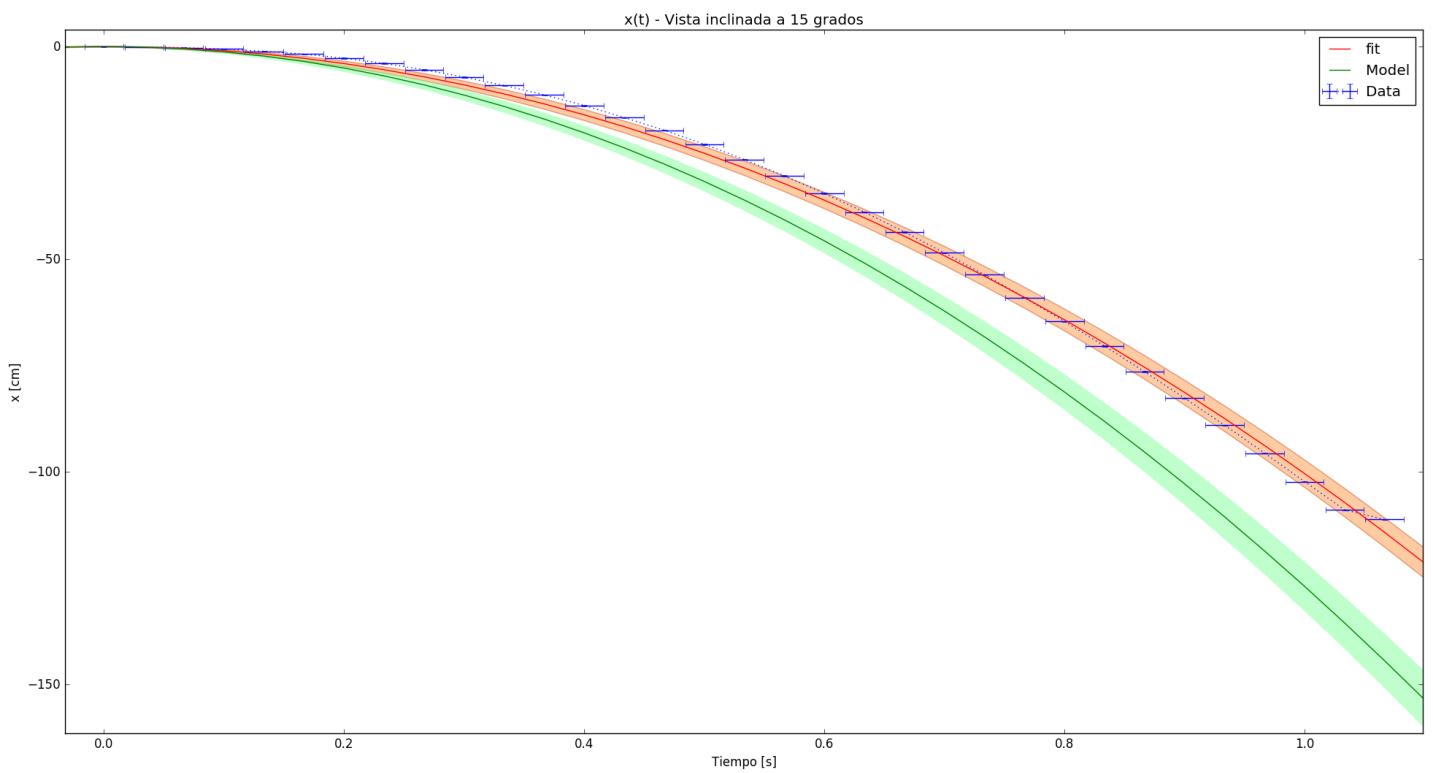
Figura 4: Parámetros obtenidos en el primer modelo

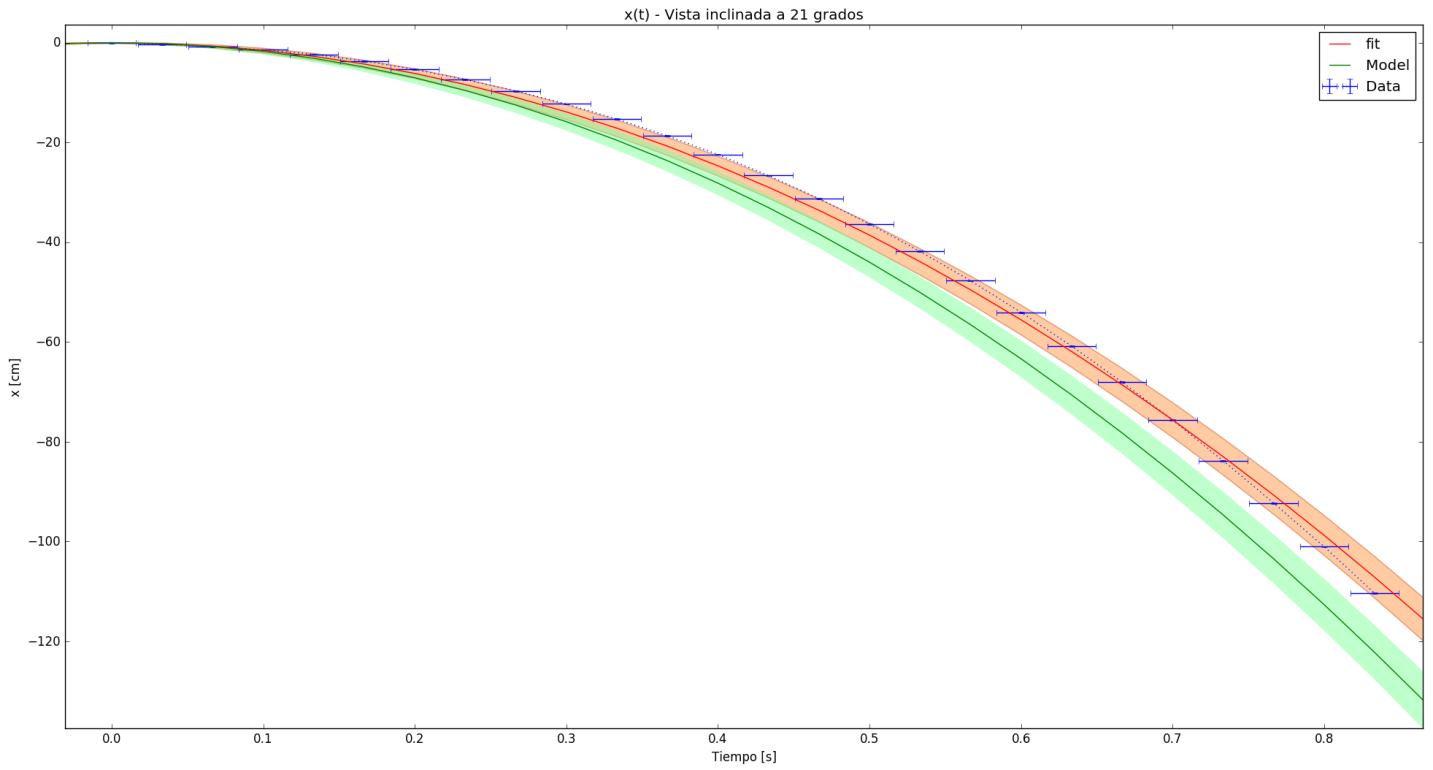
Los parámetros obtenidos con el ajuste a los datos se muestran en la figura 4.

Ahora se muestran las gráficas del segundo sistema de referencia, la vista inclinada, paralela al plano de movimiento. Sólo se muestran gráficas para la coordenada x , pues en el modelo no hay movimiento en la coordenada y y en los datos sólo hay ruido en esa coordenada. Los puntos con barras azules son los datos obtenidos. La gráfica roja es el fit obtenido por el método de mínimos cuadrados, al cual le fue asociado el error del modelo mediante el error de los parámetros obtenidos, denotado como una barra naranja. La gráfica verde es el modelo con los parámetros esperados, al cual también le fue asociado el error del modelo, denotado como una barra verde.







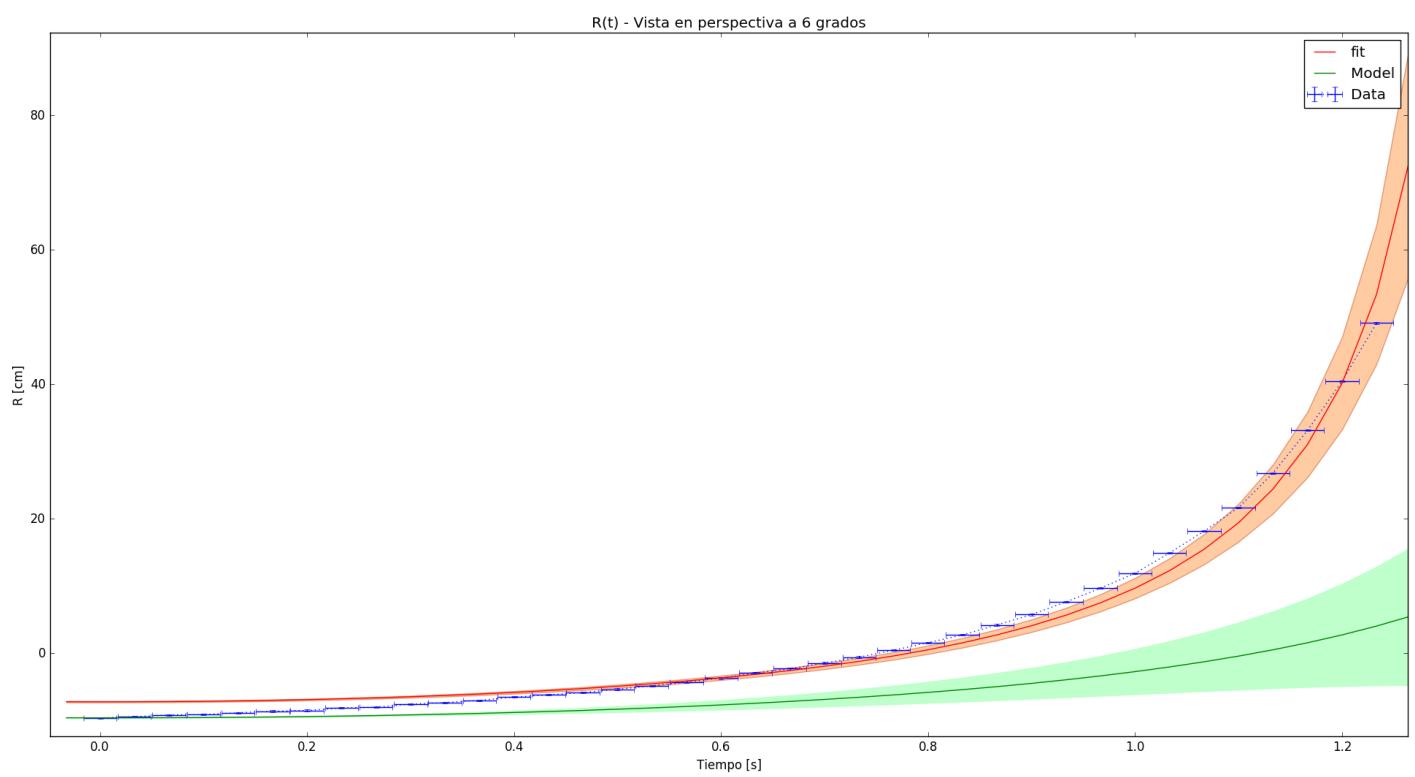
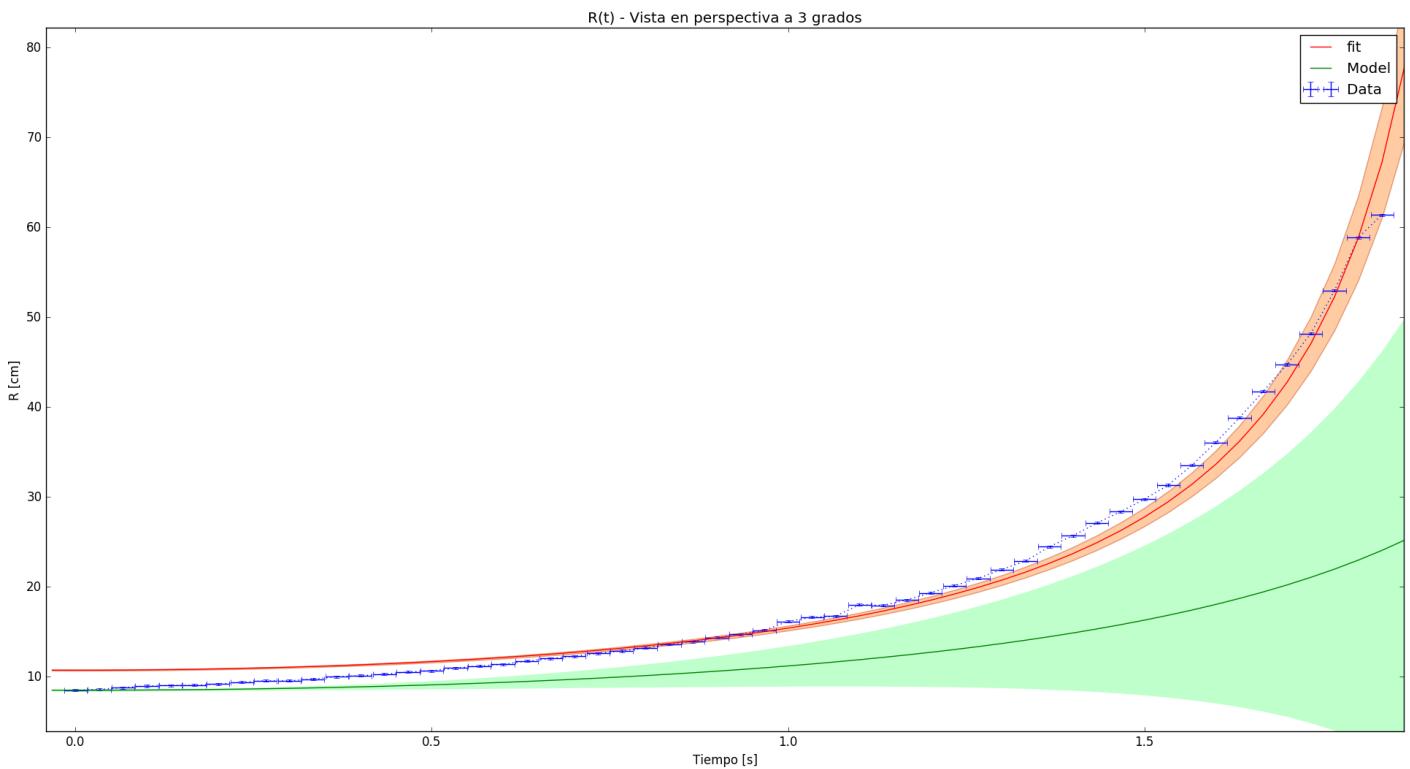


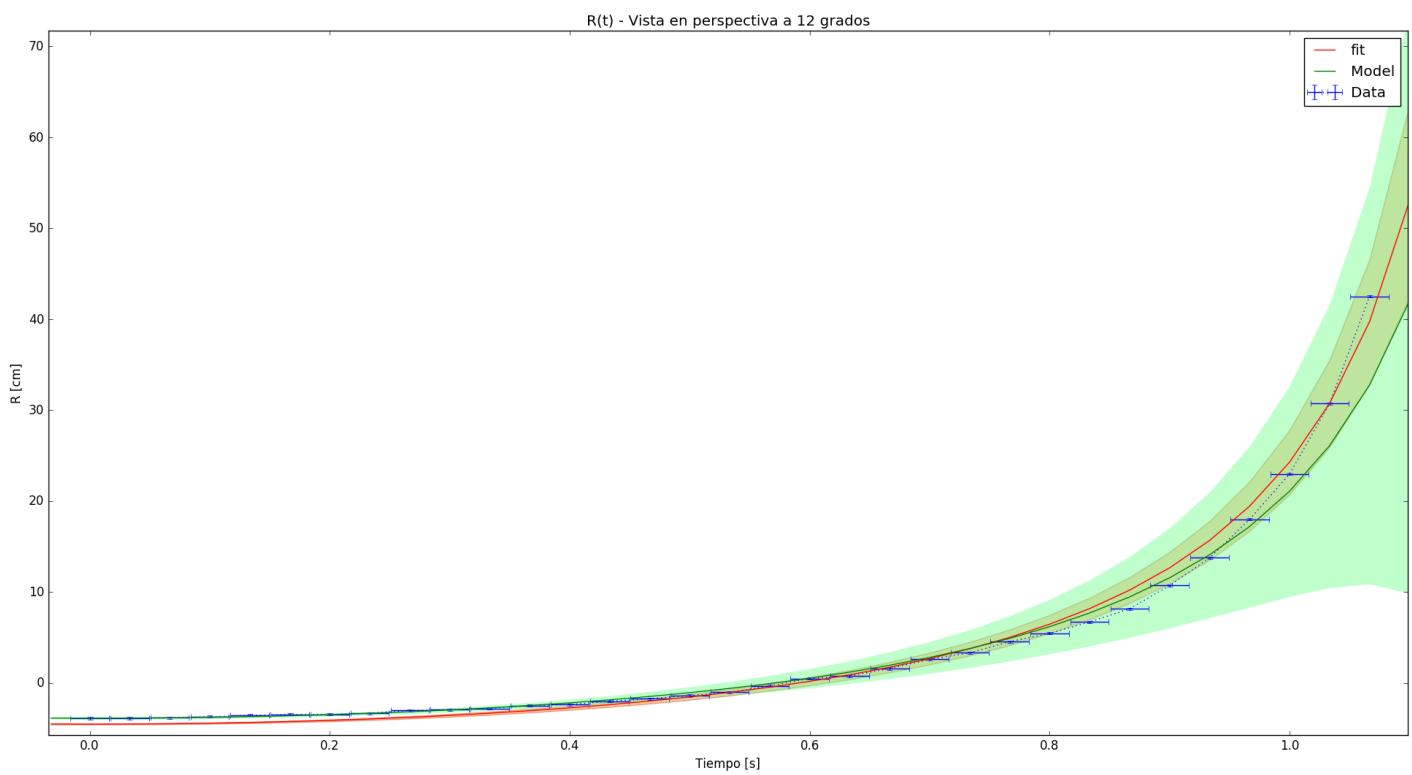
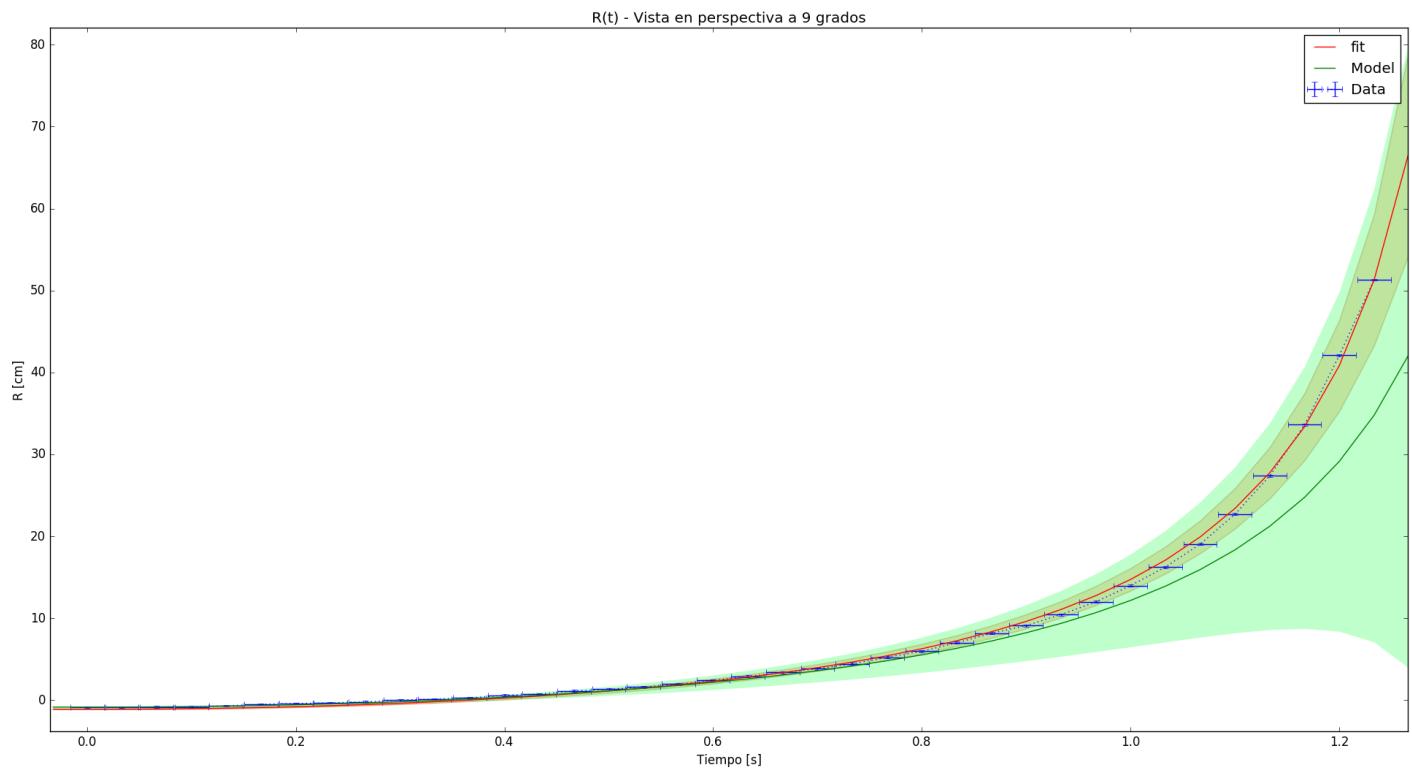
Los parámetros obtenidos con el ajuste a los datos se muestran en la figura 5.

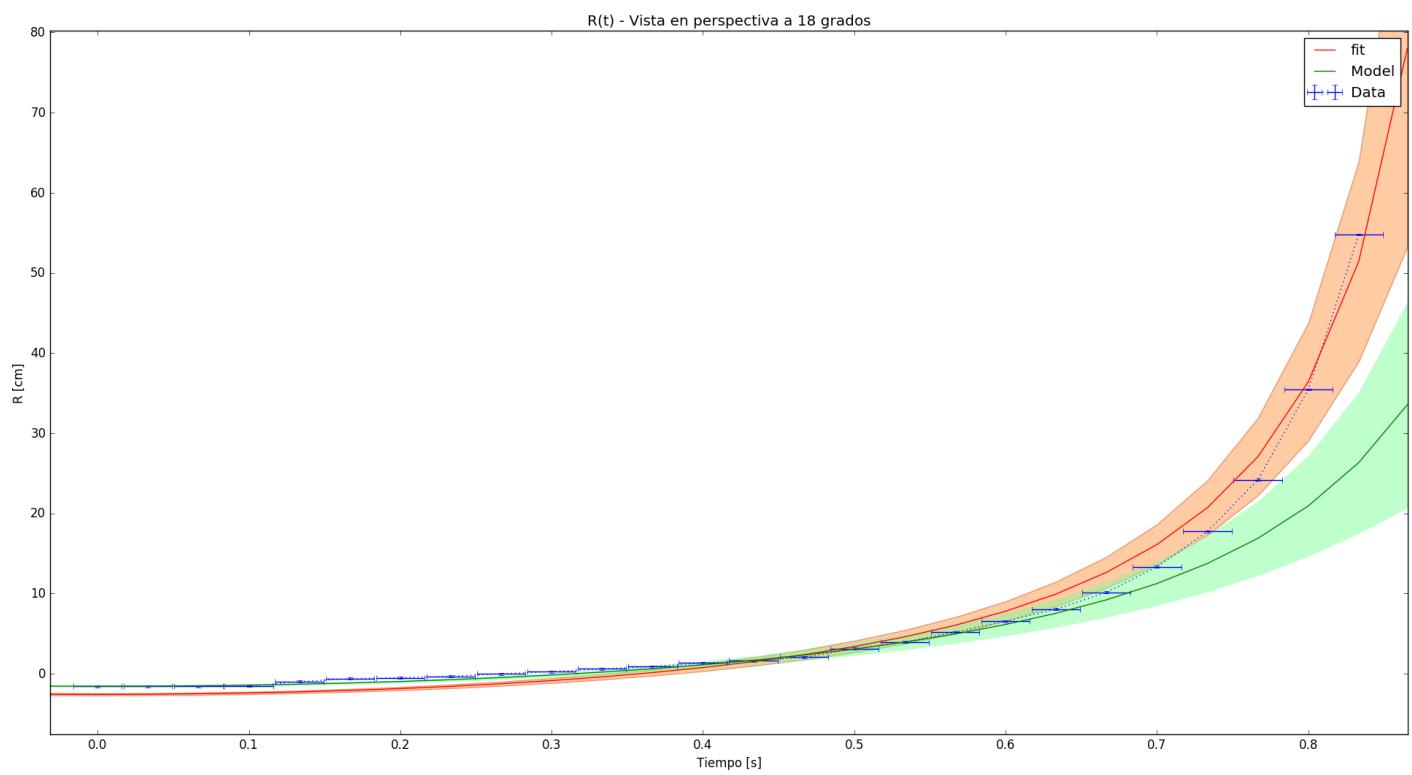
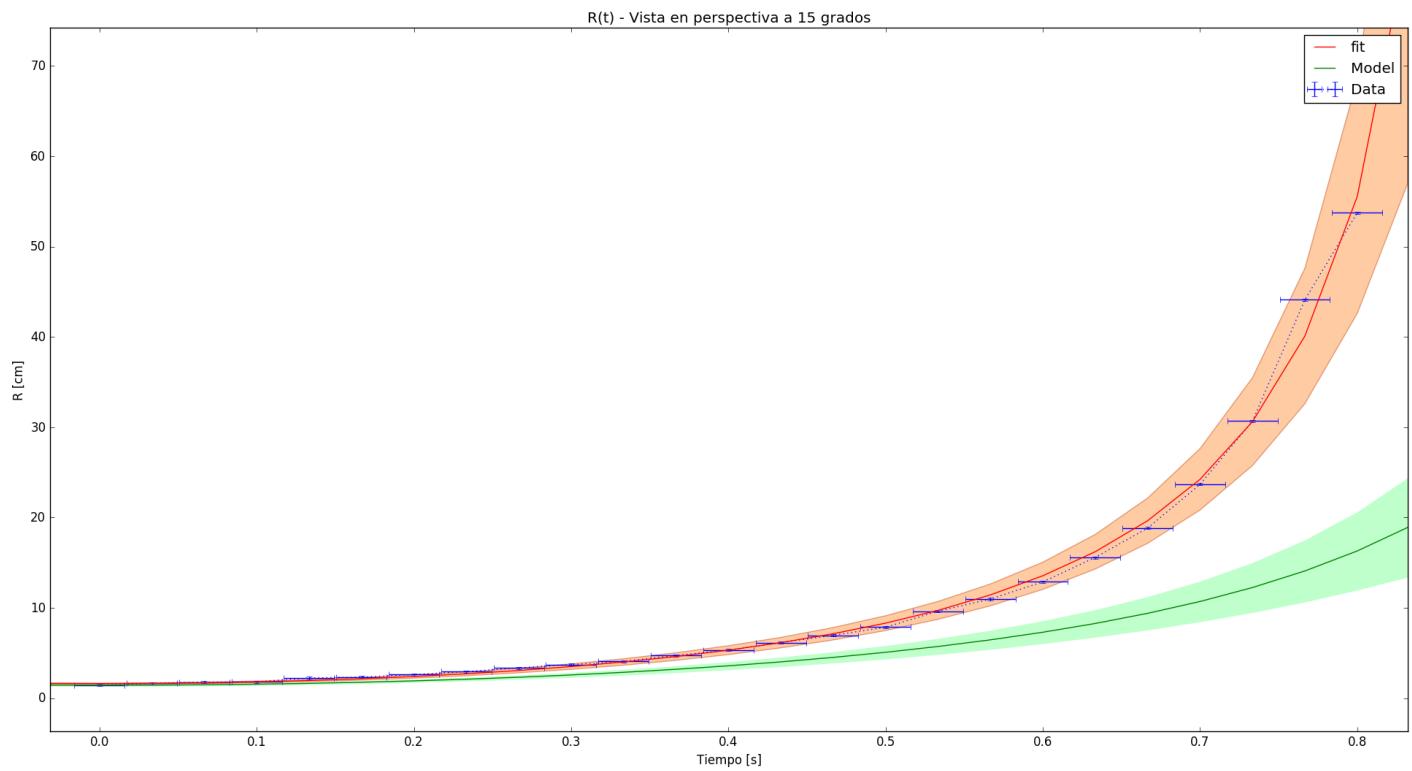
Por último se muestran las gráficas del tercer sistema de referencia, la vista en perspectiva en la base del plano. Se muestran las gráficas del tamaño cambiante de la varilla conforme se desplaza cada vez más cerca hacia el observador. Los puntos con barras azules son los datos obtenidos. La gráfica roja es el fit obtenido por el método de mínimos cuadrados, al cual le fue asociado el error del modelo mediante el error de los parámetros obtenidos, denotado como una barra naranja. La gráfica verde es el modelo con los parámetros esperados, al cual también le fue asociado el error del modelo, denotado como una barra verde.

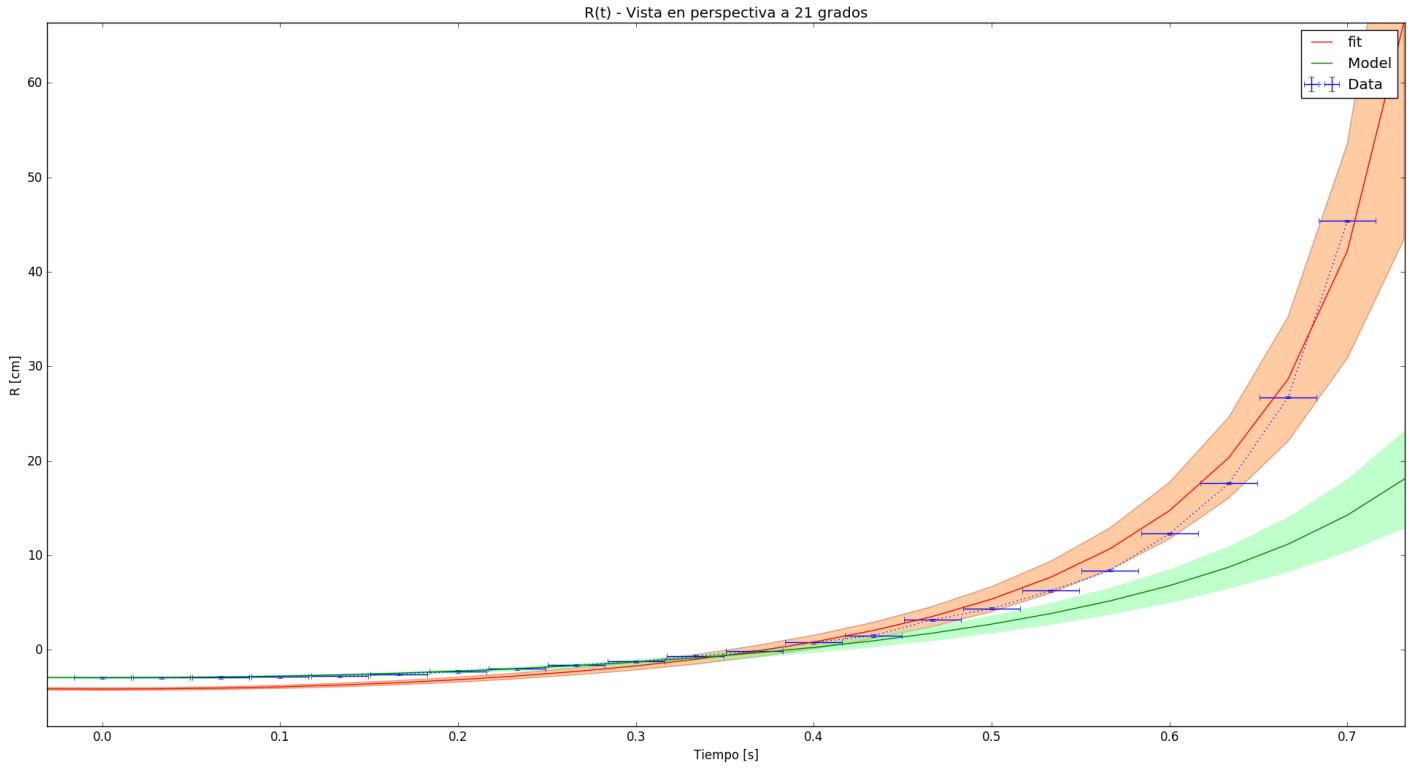
alpha[grad]	da[grad]	theta[rad]	do[rad]	a[cm/s^2]	da[cm/s^2]
3	0.5	0.052	0.0087	20	1E-3
6	0.5	0.105	0.0087	48	0.03
9	0.5	0.157	0.0087	74	0.11
12	0.5	0.209	0.0087	98	0.37
15	0.5	0.262	0.0087	100	0.26
18	0.5	0.314	0.0087	151	0.52
21	0.5	0.367	0.0087	154	0.97

Figura 5: Parámetros obtenidos en el segundo modelo









Los parámetros obtenidos con el ajuste a los datos se muestran en la figura 6.

4.3. En tracker

Se realizaron también gráficas y ajustes en el programa Tracker, pero se tuvieron muchas limitaciones, en comparación con el programa utilizado para el análisis y realización de las gráficas, Python. No fue posible asociar incertidumbres de las mediciones a las gráficas, no fue posible ajustar los datos a funciones como la del sistema de referencia 3, sólo parábolas, no se podían comparar los datos con la gráfica del modelo. As; todas las gráficas fueron ajustadas a una parábola, la linea roja.

Por las obvias desventajas que presenta el Tracker con respecto a Python, éstas gráficas no serán referidas en la discusión, ya que lo único que se puede concluir es que el los puntos de los datos entre las dos gráficas coinciden que el modelo 3 definitivamente no puede ser descrito como una parábola, y que el Tracker no debería ser usado para análisis científico de datos.

4.4. Gráfica parametrizada de los tres modelos

Se usaron las transformaciones resalatadas en el marco teórico. Para el modelo tres aparecían singularidades que no se podían quitar (no se graficaron, porque resultaría absurda la gráfica). Esto es *muy* malo y enseguida se discute. Si tienen errores, solo que las barras son muy chicas

alpha[deg]	Ro[cm]	dRo[cm]	A[s^-2]	dA[s^-2]
3	10.71	0.05	0.23	9.84E-7
6	-7.24	0.1	0.52	5.88E.6
9	-1.14	6.82E-3	0.50	6.12E-7
12	-4.53	0.04	0.65	9.73E-6
15	1.62	0.05	1.21	1.95E-5
18	-2.57	0.13	1.12	4.56E-5
21	-4.14	0.13	1.53	1.27E-4

Figura 6: Parámetros obtenidos en el tercer modelo

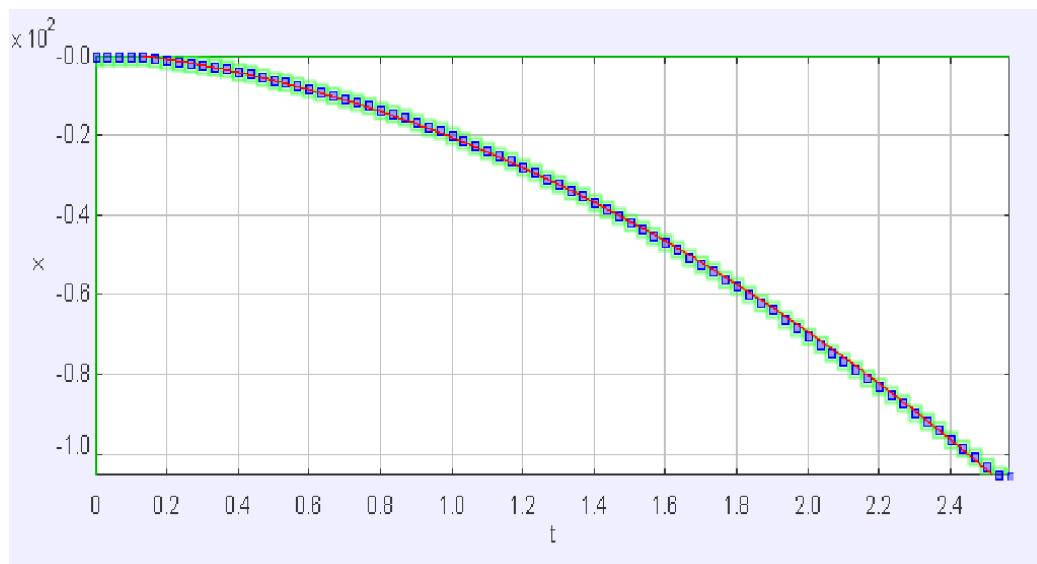


Figura 7: Coordenada x del primer sistema de referencia a 3 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[cm]

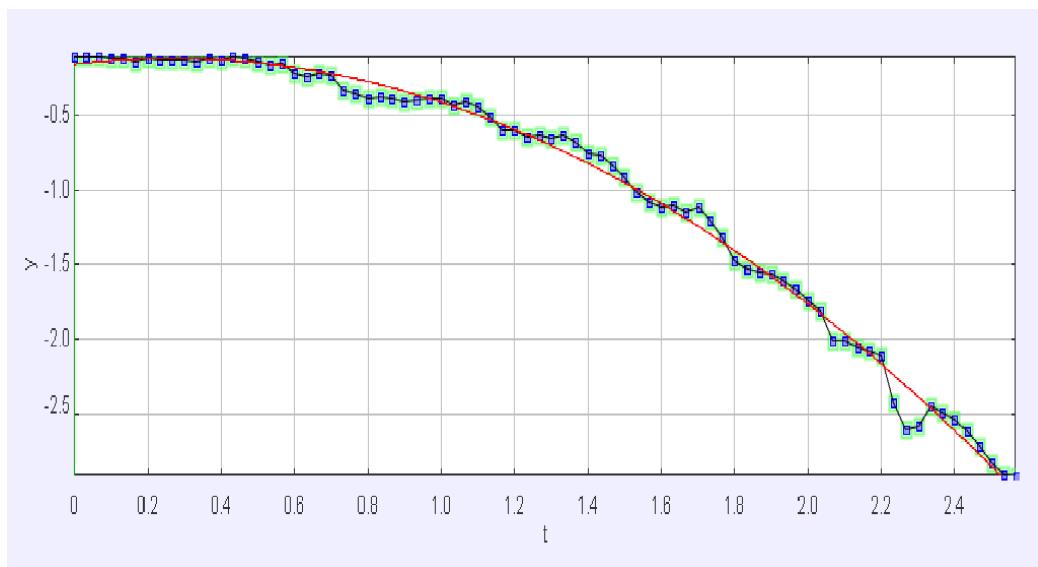


Figura 8: Coordenada y del primer sistema de referencia a 3 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en y[cm]

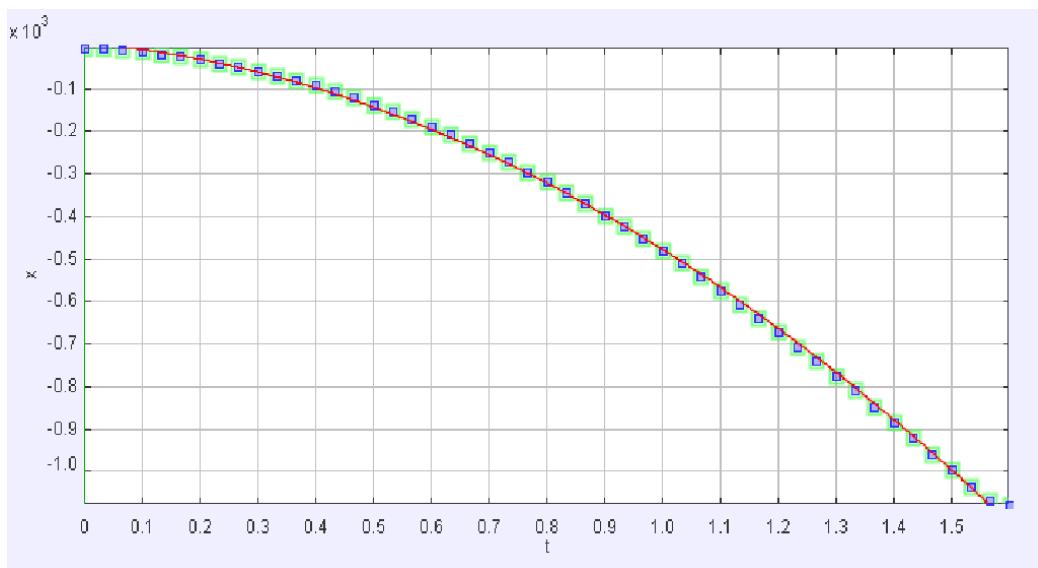


Figura 9: Coordenada x del primer sistema de referencia a 6 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[dm]

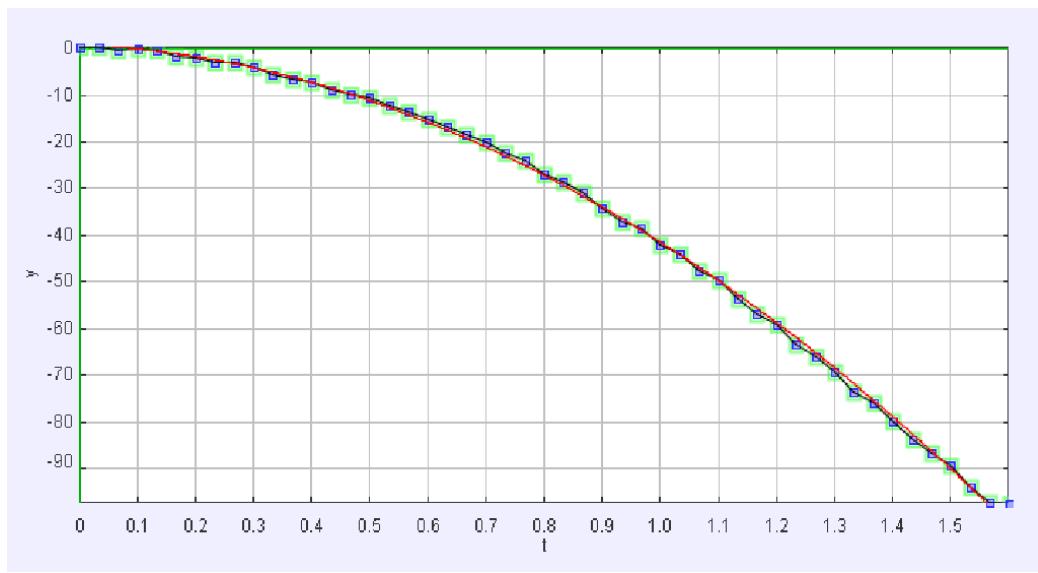


Figura 10: Coordenada y del primer sistema de referencia a 6 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en y[dm]

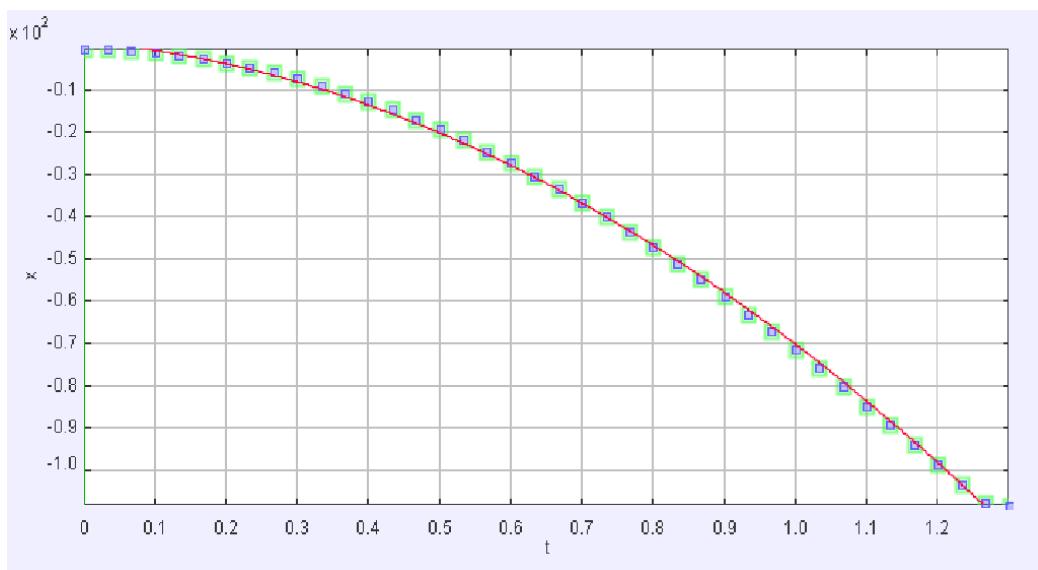


Figura 11: Coordenada x del primer sistema de referencia a 9 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[cm]

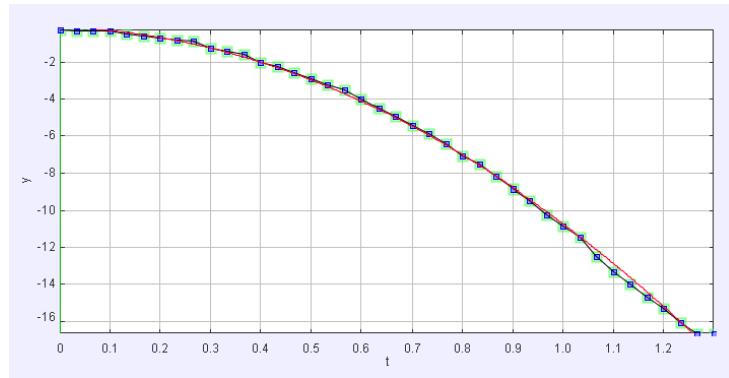


Figura 12: Coordenada y del primer sistema de referencia a 9 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en y [cm]

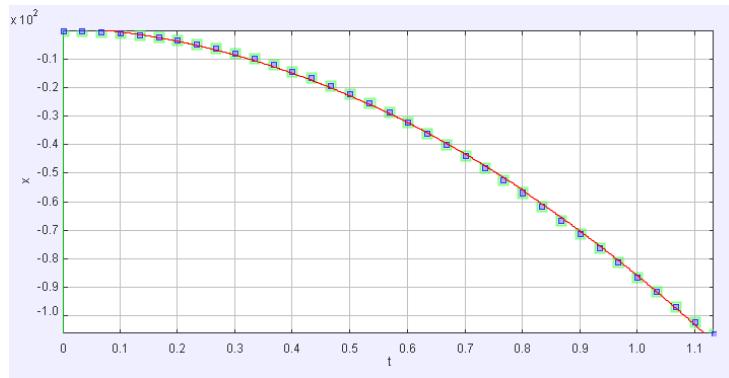


Figura 13: Coordenada x del primer sistema de referencia a 12 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x [cm]

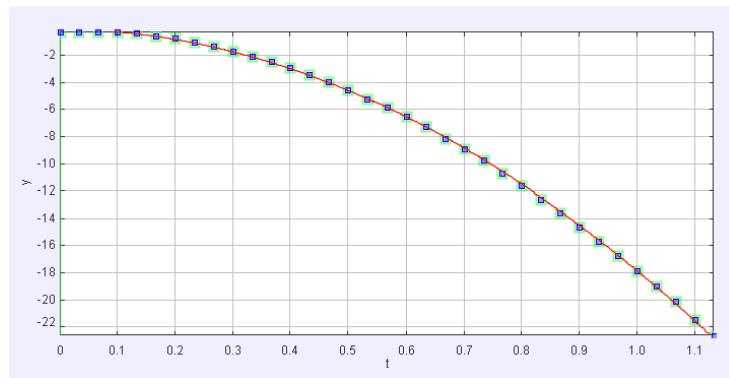


Figura 14: Coordenada y del primer sistema de referencia a 12 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en y [cm]

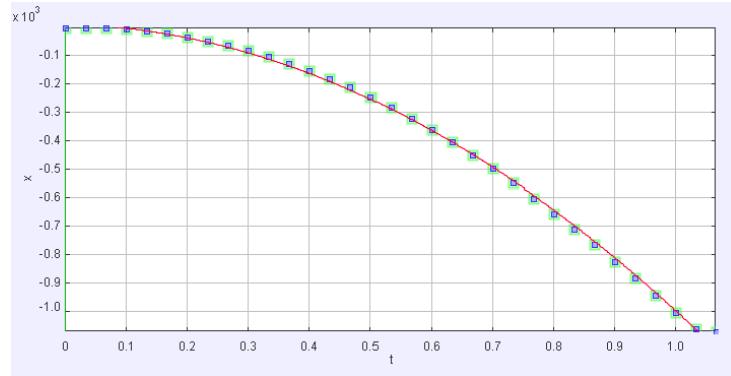


Figura 15: Coordenada x del primer sistema de referencia a 15 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[dm]

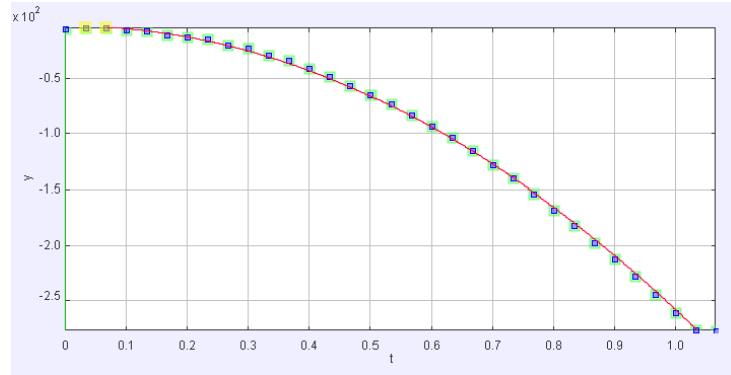


Figura 16: Coordenada y del primer sistema de referencia a 15 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en y[dm]

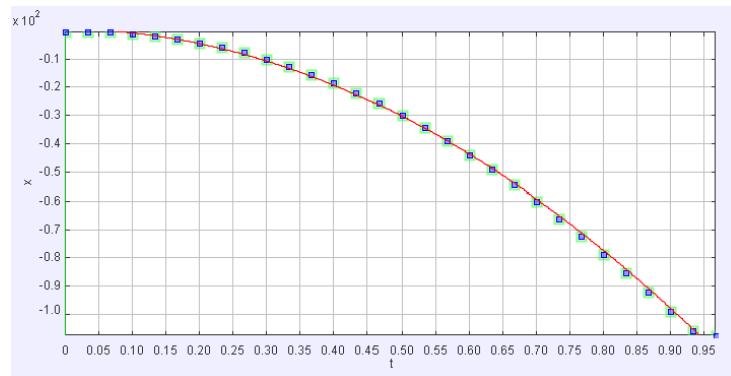


Figura 17: Coordenada x del primer sistema de referencia a 18 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[cm]

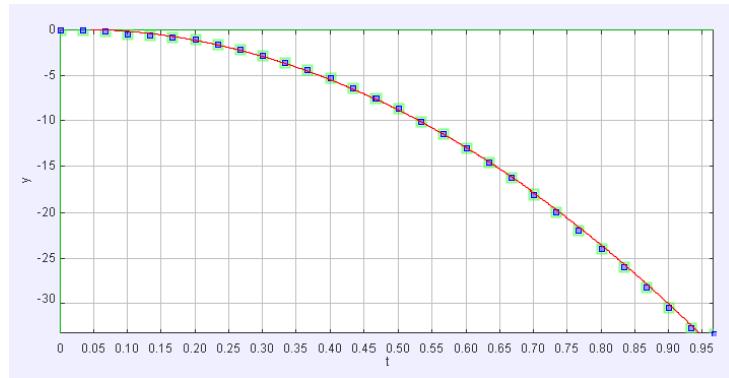


Figura 18: Coordenada y del primer sistema de referencia a 18 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en y [cm]

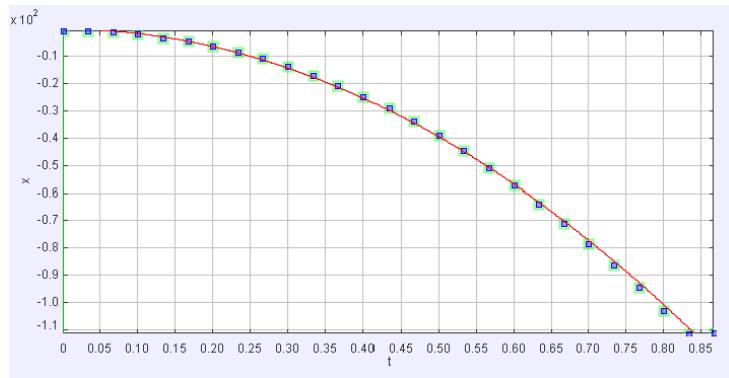


Figura 19: Coordenada x del primer sistema de referencia a 21 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x [cm]

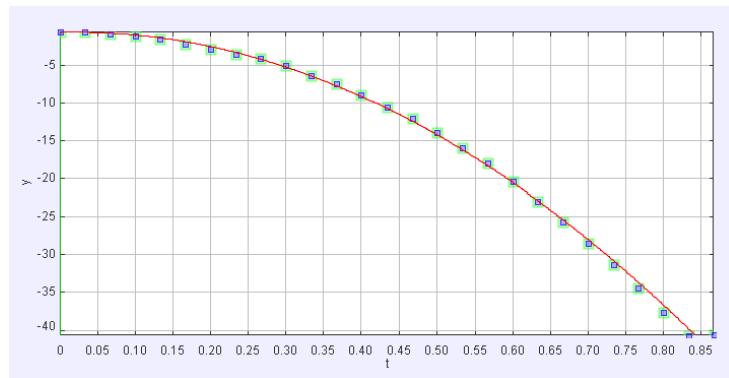


Figura 20: Coordenada y del primer sistema de referencia a 21 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en y [cm]

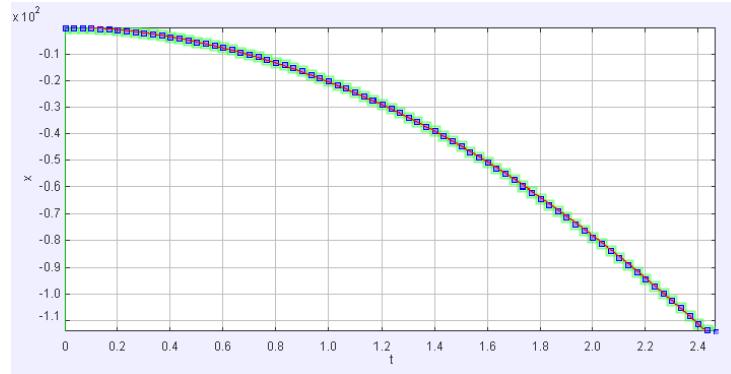


Figura 21: Coordenada x del segundo sistema de referencia a 3 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[cm]

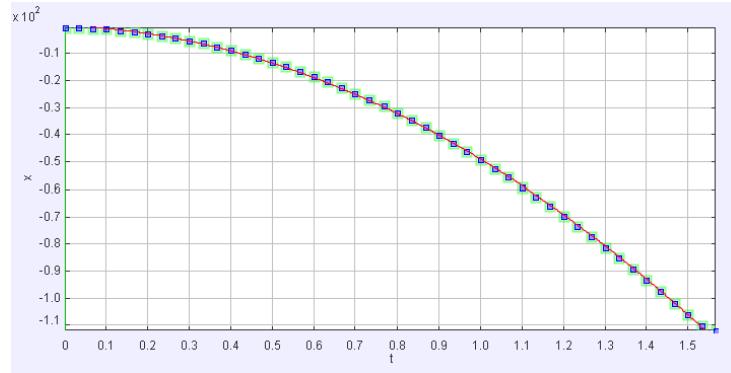


Figura 22: Coordenada x del segundo sistema de referencia a 6 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[cm]

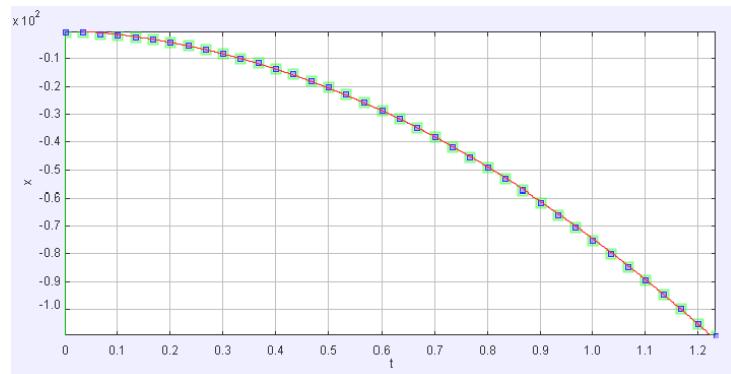


Figura 23: Coordenada x del segundo sistema de referencia a 9 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[cm]

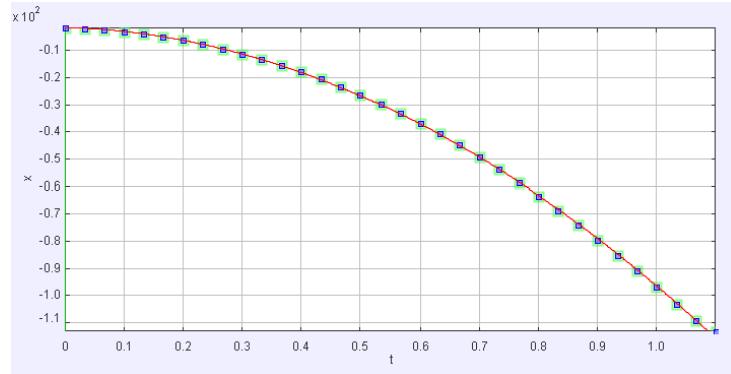


Figura 24: Coordenada x del segundo sistema de referencia a 12 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[cm]

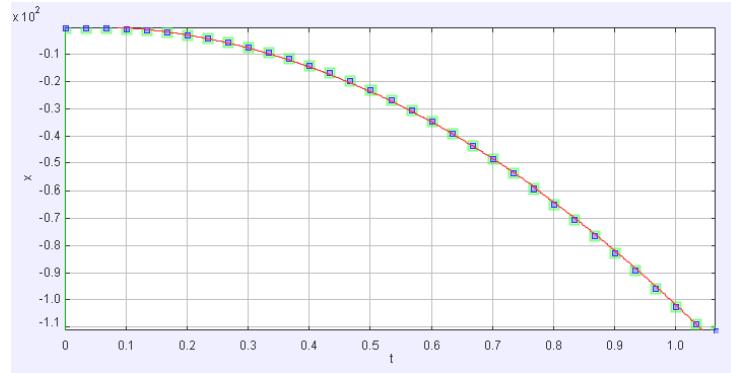


Figura 25: Coordenada x del segundo sistema de referencia a 15 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[cm]

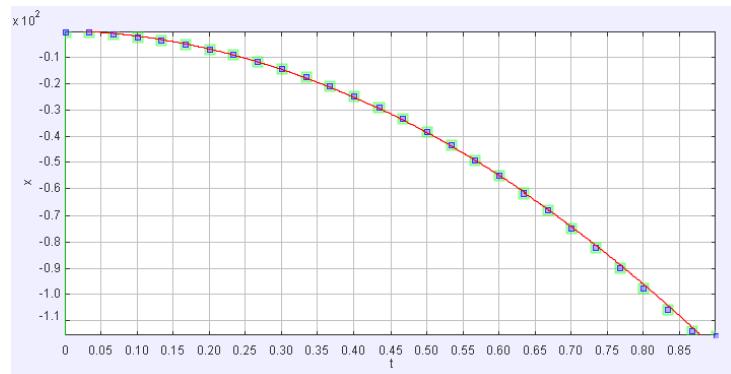


Figura 26: Coordenada x del segundo sistema de referencia a 18 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[cm]

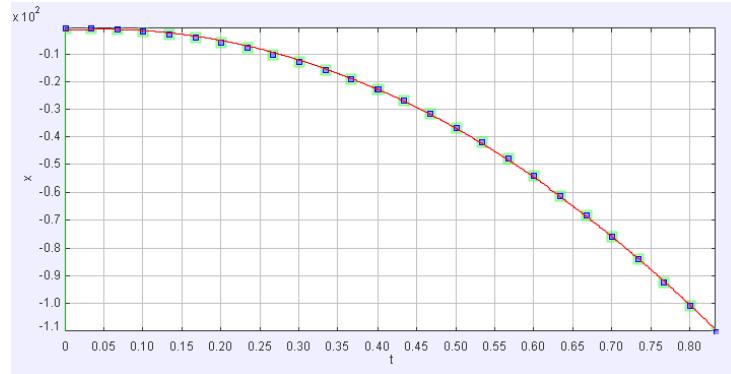


Figura 27: Coordenada x del segundo sistema de referencia a 21 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en x[cm]

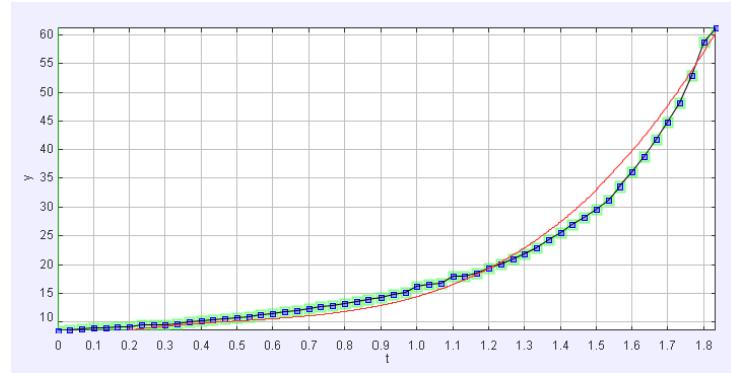


Figura 28: Desplazamiento R del tercer sistema de referencia a 3 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en R[cm]

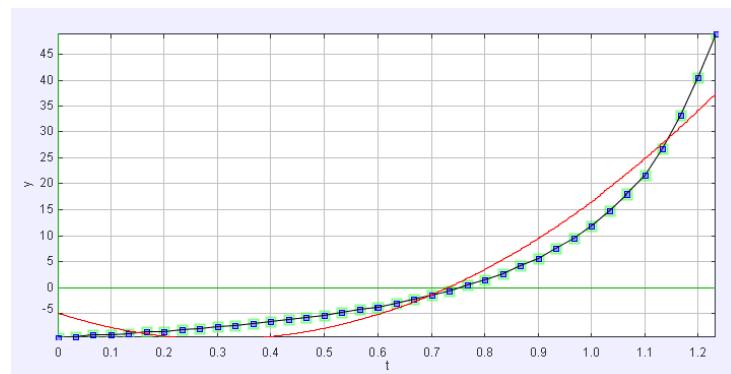


Figura 29: Desplazamiento R del tercer sistema de referencia a 3 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en R[cm]

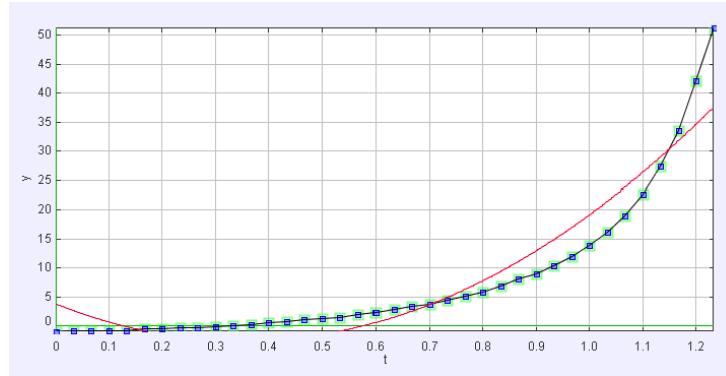


Figura 30: Desplazamiento R del tercer sistema de referencia a 3 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en R[cm]

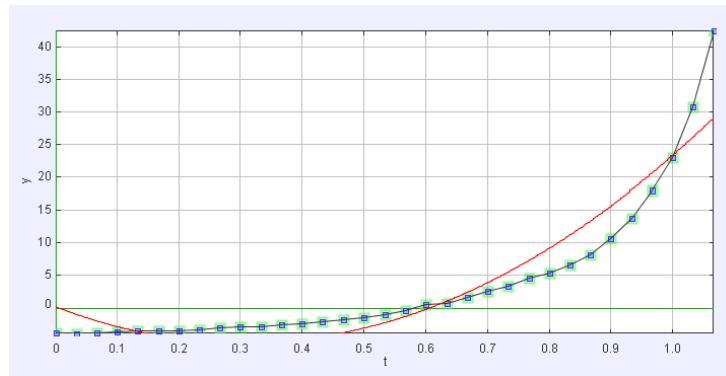


Figura 31: Desplazamiento R del tercer sistema de referencia a 3 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en R[cm]

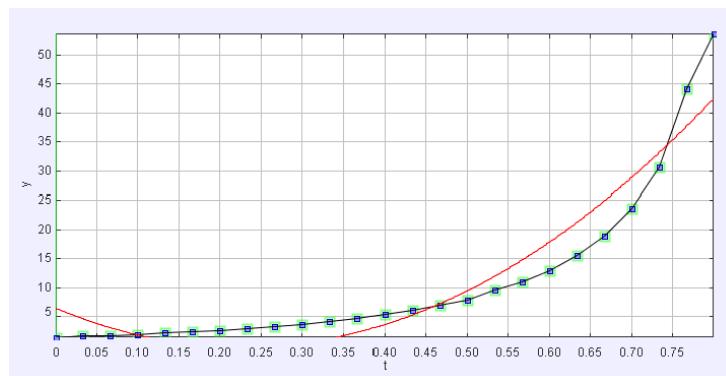


Figura 32: Desplazamiento R del tercer sistema de referencia a 3 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en R[cm]

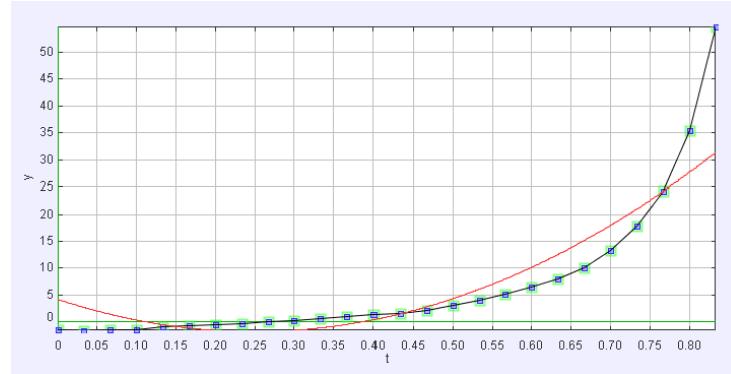


Figura 33: Desplazamiento R del tercer sistema de referencia a 3 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en R[cm]

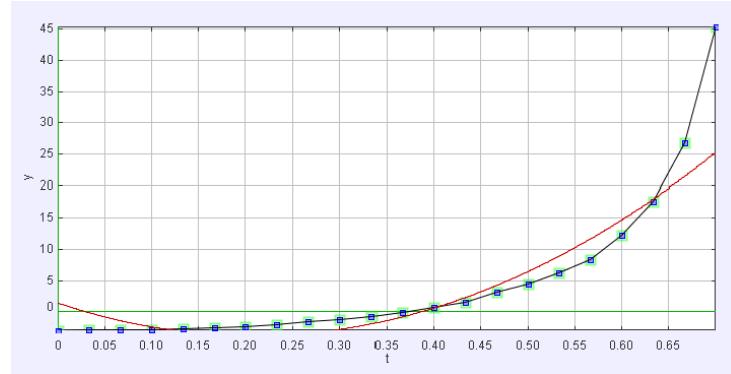
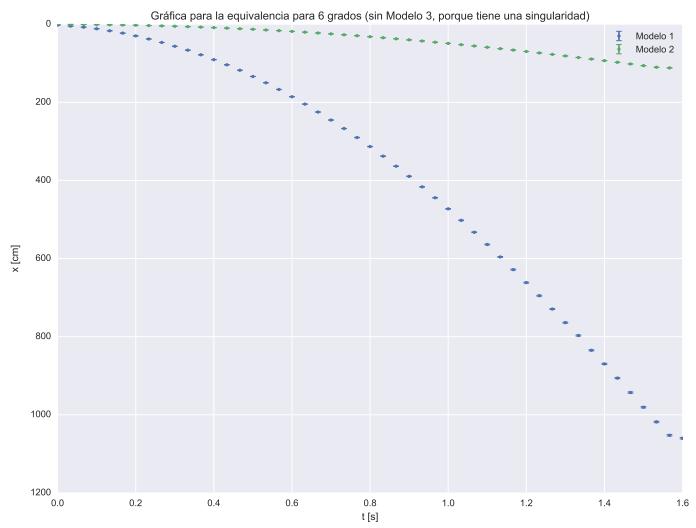
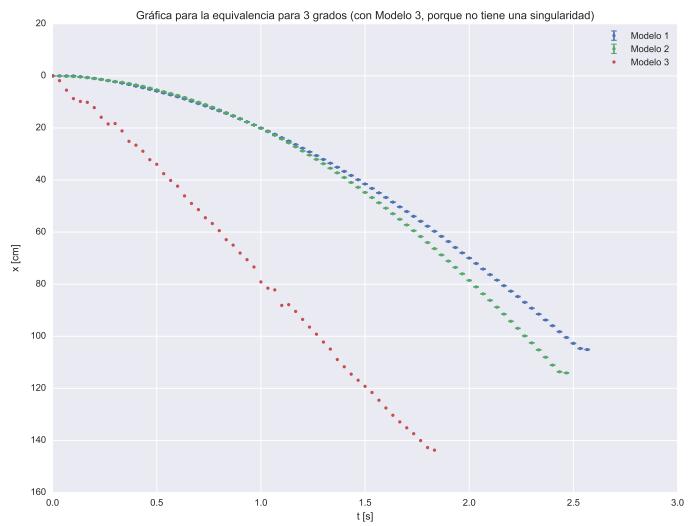
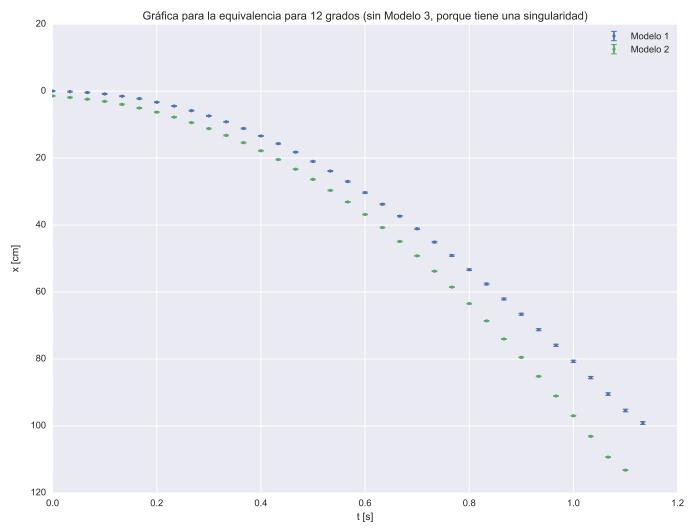
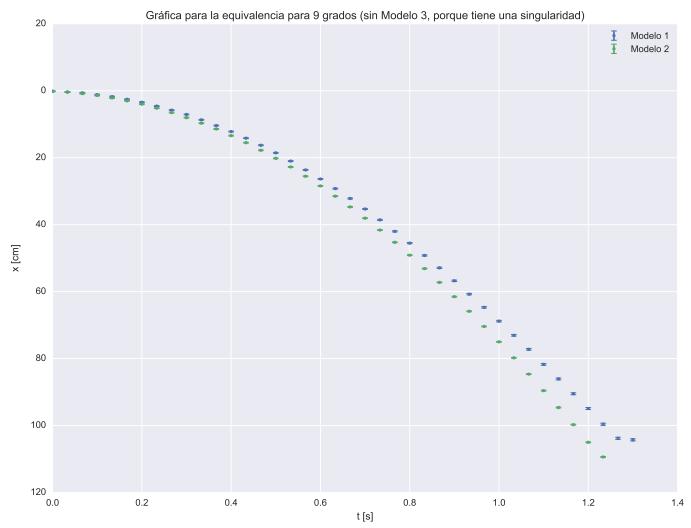
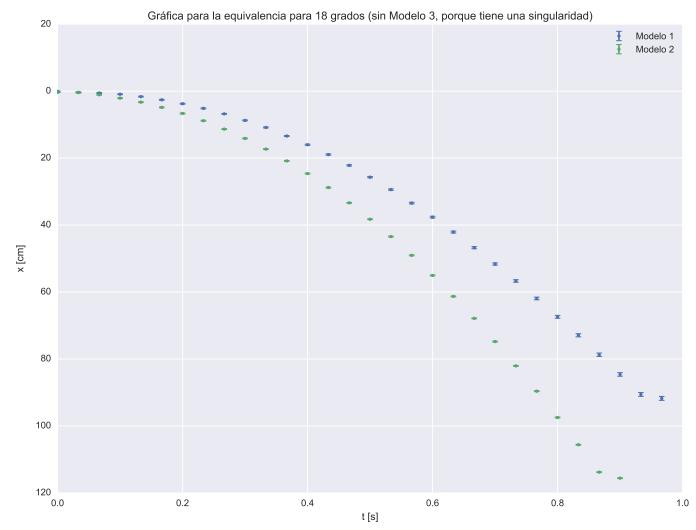
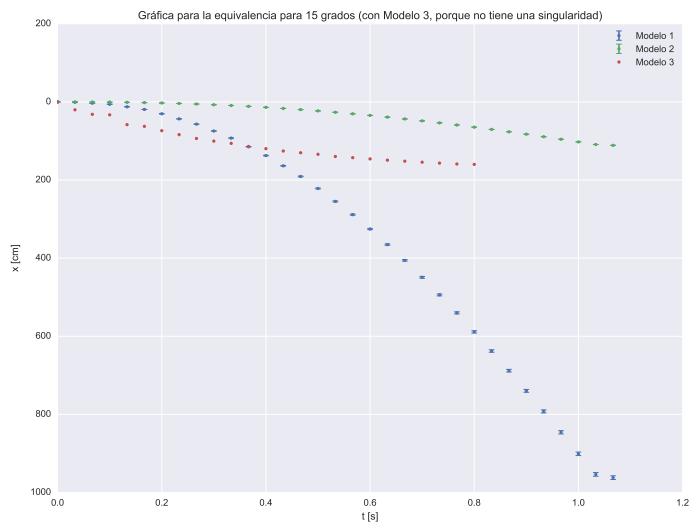
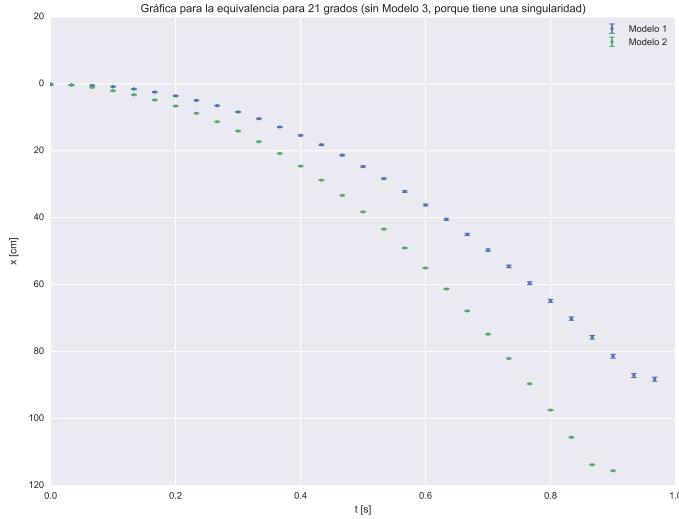


Figura 34: Desplazamiento R del tercer sistema de referencia a 3 grados. El eje x es el tiempo [s] y el eje y es el desplazamiento en R[cm]









5. Discusión

El primer punto de referencia implicaba dos ecuaciones que debían ser ajustadas, una para cada dirección. En todas las gráficas se puede observar que los datos se pueden ajustar a un modelo de la forma $x = at^2$ o $y = bt^2$ con bastante exactitud (a excepción de la de y a 3 grados, que muestra algunas extrañas fluctuaciones), por lo que podemos afirmar con seguridad que el fenómeno está regido por ecuaciones de ese tipo.

Ahora, no en todos los ángulos hubo un buen ajuste de los parámetros obtenidos con los esperados. Sería de esperar que para cada ángulo en específico, el ajuste o desajuste de los datos con el modelo en las dos dimensiones esté relacionado. Eso fue exactamente lo que sucedió.

Podemos observar que en las gráficas de 3 grados existe un considerable desajuste, lo que es corroborado por la diferencia de casi $9\text{cm}/\text{s}^2$ en el parámetro a y por otra de $0,6\text{cm}/\text{s}^2$ en el parámetro b (que aunque pareciera no ser mucha, por estar exactamente a tan poca inclinación, esa diferencia es considerable). Esos son malos resultados, pero podemos estar seguros de que hubo un error metodológico (probablemente en la medición del ángulo), ya que ambas dimensiones tuvieron un desajuste proporcional, por lo que el modelo no queda invalidado; simplemente a 3 grados se debe ser muy preciso en la medición del ángulo. En las gráficas a 6, 15 y 18 grados pasa algo similar, pero con desajuste proporcionalmente menor.

Por otro lado, en las gráficas a 9, 12 y 21 grados se puede observar un ajuste con mucha exactitud con respecto al modelo (nótese que no se diferencia entre las dimensiones de los datos de cada ángulo, pues se puede observar que su cercanía al modelo está efectivamente relacionada). Eso se ve especialmente en la gráfica a 21 grados, que tiene una exactitud casi perfecta, respaldado por la diferencia entre los parámetros obtenidos y los esperados, que es de $7\text{cm}/\text{s}^2$ en el parámetro a y de $6\text{cm}/\text{s}^2$ en el parámetro b , lo que puede parecer similar a la diferencia obtenida en el modelo a 3 grados, pero proporcionalmente es mucho menor, ya que los valores de los parámetros son mucho mayores.

El hecho de que en algunos ángulos no haya habido resultados muy cercanos al modelo, pero que en otros ángulos sea todo lo contrario, confirma que el desajuste radica principalmente en la medición del ángulo. Por lo que se puede concluir que en general los resultados fueron satisfactorios.

El fenómeno observado en el primer modelo y las conclusiones obtenidas son completamente análogas en los resultados obtenidos en el modelo 2, a excepción de la validez que otorga la medición de dos dimensiones, pues ahora sólo tenemos pruebas para una sola dimensión por ángulo. Es importante notar que de nuevo hubo un gran desajuste en los datos a 3 grados con respecto al modelo esperado, lo que probablemente implica que a 3 grados la gravedad aún no tiene la suficiente fuerza como para ocultar el efecto de la fricción restante que pueda haber. Por otro lado hubo ajustes casi perfectos en las gráficas a 6, 9, 12 y 18 grados (especialmente la de 18 grados), lo que le otorga mucha más validez al modelo y a la hipótesis de que los desajustes en las demás mediciones se deben a errores en la medición del ángulo.

Incluso cuando en éste modelo debería haber habido un error de ángulo mayor, debido a que se tenía que inclinar el plano y la cámara con respecto a éste, los resultados fueron mejores los del modelo pasado. Además, puesto a que los fenómenos en sí están íntimamente relacionados (en la parte 1 podríamos haber rotado la imagen y medir el eje x como el modelo 2), los resultados también le otorgan validez al modelo 1.

El tercer modelo fue en el que podrían haber salido mal varias cosas. Había muchas mediciones de longitud involucradas, se tenía que alinear la cámara a la inclinación del plano, el fenómeno dependía de muchas variables, pero especialmente en sólo la posición inicial. El modelo teórico obtenido era demasiado exigente con respecto a la alineación de la cámara con el plano, eso se pudo observar cuando se intentaron ajustar los datos a ese modelo y se veía que había casos en los cuales la curva de los datos era ascendiente, mientras que la curva del modelo era descendiente y no parecía haber ninguna correlación (no es necesario mostrar esas gráficas, lo descrito es lo único que se podía concluir de ellas). Éste fenómeno ya fue descrito y explicado en la introducción, pero en resumen se eligió un a aproximación al modelo ideal cuya monotoneidad no dependiera del punto inicial.

Por tercera ocasión se pudo observar un gran desajuste en la gráfica a 3 grados, y ahora también en la de 6 grados, con una diferencia de 0,8 y de 0,21 respectivamente en el parámetro A , lo que proporcionalmente es muy grande. (El parámetro R_o se considera irrelevante, puesto que sólo tiene que ver con la elección del origen). En las gráficas a 9 y 12 grados existe un buen ajuste, lo que al menos le otorga algo de validez al modelo aproximado. Podemos observar también que los datos se ajustan razonablemente a un modelo como el esperado. Así también, el tiempo del recorrido disminuye conforme la inclinación aumenta (lo que también pasa en los 2 modelos anteriores). Pero definitivamente hay grandes desajustes con respecto al modelo en las de 3, 6, 15 y 21 grados. Incluzo el parámetro obtenido en la inclinación a 6 grados es mayor que el obtenido en la inclinación a 9 grados, lo que denota que hubo un error metodológico muy grande específicamente en esa segunda medición, probablemete , como ya fue anteriormente mencionado, el ángulo de inclinación del plano y de la cámara (porque de hecho el parámetro se ajusta más al esperado en 9 grados).

Además, en los casos en los que los ángulos estaban 'bien', el hecho de que la curva del ajuste estuviera siempre por debajo de la del modelo se explica considerando que la resistencia del aire no es tan pequeña como se había planteado, el sistema pierde energía mecánica constantemente, que se ve en la pérdida de velocidad.

Finalmente, es necesario explicar el desastre de las transformaciones. En general del modelo 1 al 2 se dieron transformaciones que aunque no fueron idénticas , al menos fueron semejantes, con la excepción de algunos casos donde al transformar se obtenian curvas que claramente no podían ser la misma (15, p. ej.), pero esto también se nota en los ajustes. Esto son errores del ángulo y, lamentablemente, de la extrapolación de datos en tracker, porque el fenómeno físico es bien documentado y no hay razón para esperar ni obtener anomalías de esa forma. La transformación al modelo tres se debe en escencia a lo mismo, los datos extraídos de tracker dan negativos y positivos, lo que hace que la transformación se indetermine en ciertos puntos. Aunque teóricamente se haya podido demostrar, es inconcluso, pues no se encontró evidencia empírica para sostener esta hipótesis. Esto no quiere decir que no sean equivalentes, quiere decir que se necesitan o más datos, u otro análisis, para comprobar lo que se planteó.

6. Conclusiones

Se comprobó, hasta cierto punto, que los cambios de sistemas de referencia iniciales no deberían de afectar el desarrollo del fenómeno en sí, simplemente el movimiento cambia de acuerdo a una transformación lineal específica, dada por el cambio del sistema de referencia. Se concluyó que todos los fenómenos están regidos por ecuaciones de la forma $x = at^2$, $y = bt^2$ y $R = \frac{D}{1-At^2} + R_0 - D$, respectivamente. Además se notó que hubo errores metodológicos en cuanto a la medición del ángulo entre los 3 sistemas de referencia en varias mediciones, esto se debe en parte a las grandes diferencias en inclinación de las mesas y el piso, que son de entre 1 y 3 grados.. Por último se llegó a la conclusión que se necesita una exactitud mucho mayor para la realización del experimento en el tercer sistema de referencia, incluzo cuando lo aproximamos a uno que no varía tanto con respecto a la posición inicial, puesto que aún así varía considerablemente con respecto a la inclinación relativa de la cámara a la del plano. Además, se notó que la fricción con el aire juega una papel no tan pequeño. Así, pues, se puede decir que la práctica no tuvo los resultados esperados, lo que parecería trivial, la equivalencia de marcos de referencia iniciales resultó inconcluso. Sin embargo, se pudo ver que sin transformar a los modelos si tienen cierto poder descriptivo, sobre todo el primero y el segundo.

7. Apéndices

Fotografías que muestran el montaje de cada perspectiva con su respectivo patrón de medida.
Tablas de datos.

Referencias

- [1] Ciudad de México, Clima y ambiente,
https://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_de_M%C3%A9xico#Clima_y_medio_ambiente

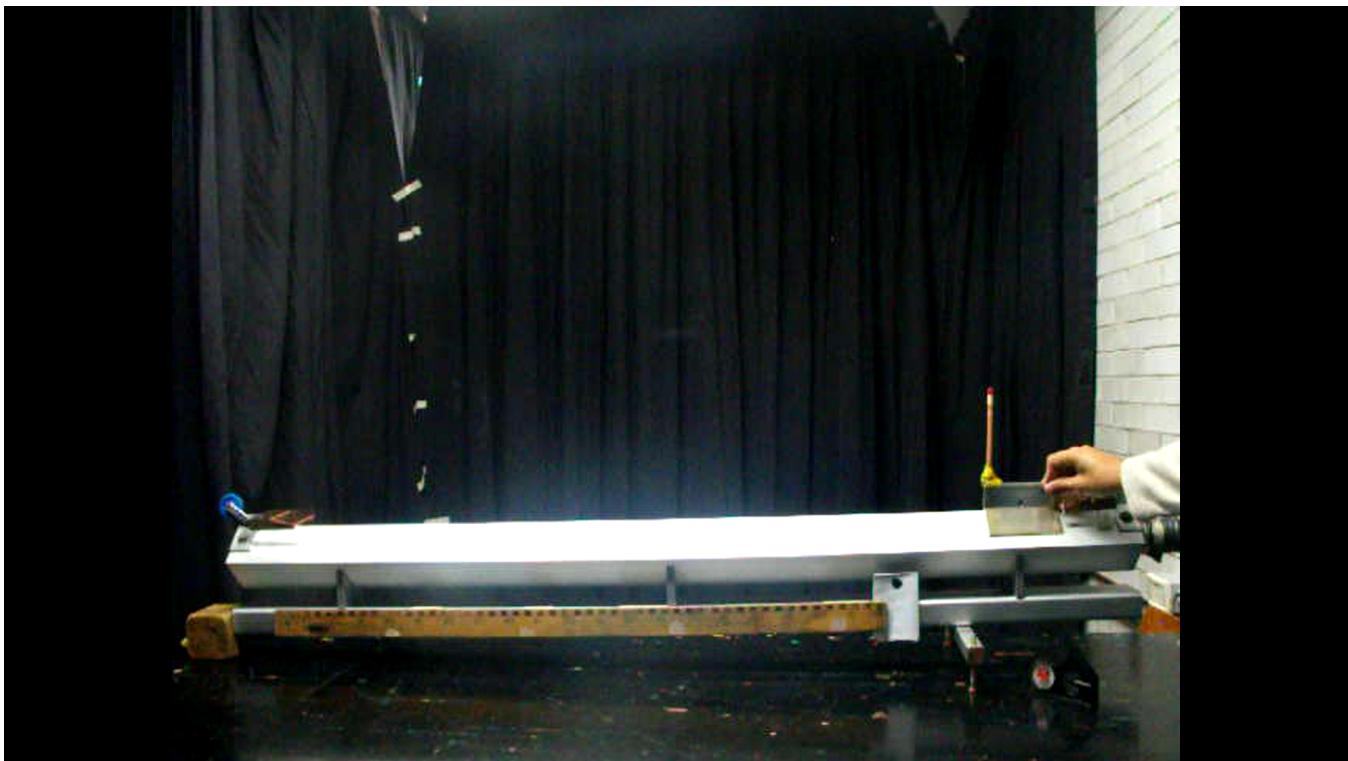


Figura 35: Imagen tomada de un video en la perspectiva 1

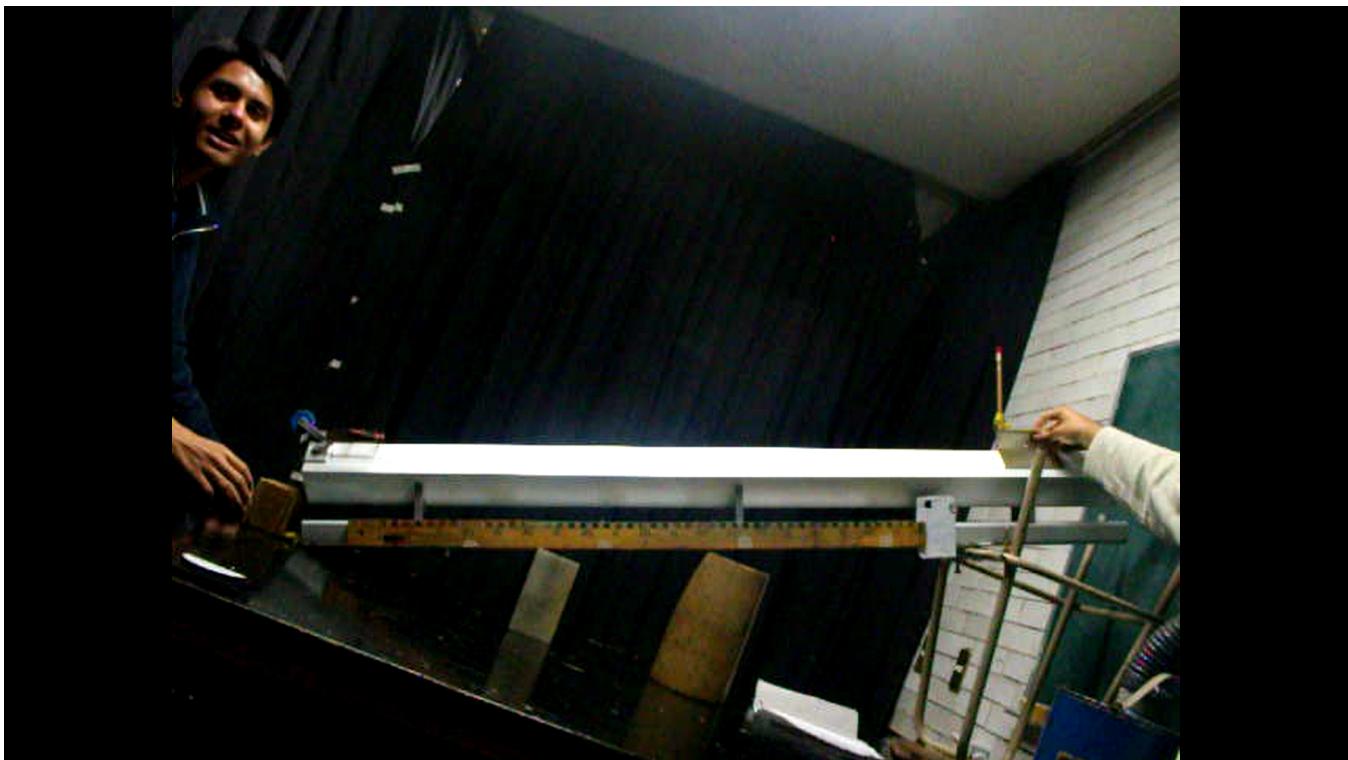


Figura 36: Imagen tomada de un video en la perspectiva 2



Figura 37: Imagen tomada de un video en la perspectiva 3

Video 1 Parte 1					
t[s]	Inset	x[cm]	Incert	y[cm]	Incert
0.00E+00	±0.016 s	1.42E-14	±0.125 cm	-1.18E-01	±0.125 cm
3.33E-02	±0.016 s	-7.24E-04	±0.125 cm	-1.13E-01	±0.125 cm
6.67E-02	±0.016 s	-3.43E-03	±0.125 cm	-1.09E-01	±0.125 cm
1.00E-01	±0.016 s	-2.35E-02	±0.125 cm	-1.21E-01	±0.125 cm
1.33E-01	±0.016 s	-3.13E-01	±0.125 cm	-1.24E-01	±0.125 cm
1.67E-01	±0.016 s	-6.17E-01	±0.125 cm	-1.44E-01	±0.125 cm
2.00E-01	±0.016 s	-9.58E-01	±0.125 cm	-1.28E-01	±0.125 cm
2.33E-01	±0.016 s	-1.39E+00	±0.125 cm	-1.35E-01	±0.125 cm
2.67E-01	±0.016 s	-1.86E+00	±0.125 cm	-1.38E-01	±0.125 cm
3.00E-01	±0.016 s	-2.31E+00	±0.125 cm	-1.39E-01	±0.125 cm
3.33E-01	±0.016 s	-2.83E+00	±0.125 cm	-1.43E-01	±0.125 cm
3.67E-01	±0.016 s	-3.33E+00	±0.125 cm	-1.31E-01	±0.125 cm
4.00E-01	±0.016 s	-3.99E+00	±0.125 cm	-1.35E-01	±0.125 cm
4.33E-01	±0.016 s	-4.57E+00	±0.125 cm	-1.19E-01	±0.125 cm
4.67E-01	±0.016 s	-5.20E+00	±0.125 cm	-1.31E-01	±0.125 cm
5.00E-01	±0.016 s	-5.90E+00	±0.125 cm	-1.50E-01	±0.125 cm
5.33E-01	±0.016 s	-6.61E+00	±0.125 cm	-1.67E-01	±0.125 cm
5.67E-01	±0.016 s	-7.33E+00	±0.125 cm	-1.61E-01	±0.125 cm
6.00E-01	±0.016 s	-8.07E+00	±0.125 cm	-2.23E-01	±0.125 cm
6.33E-01	±0.016 s	-8.90E+00	±0.125 cm	-2.44E-01	±0.125 cm
6.67E-01	±0.016 s	-9.80E+00	±0.125 cm	-2.30E-01	±0.125 cm
7.00E-01	±0.016 s	-1.07E+01	±0.125 cm	-2.38E-01	±0.125 cm
7.33E-01	±0.016 s	-1.16E+01	±0.125 cm	-3.34E-01	±0.125 cm
7.67E-01	±0.016 s	-1.25E+01	±0.125 cm	-3.55E-01	±0.125 cm
8.00E-01	±0.016 s	-1.35E+01	±0.125 cm	-3.97E-01	±0.125 cm
8.33E-01	±0.016 s	-1.45E+01	±0.125 cm	-3.81E-01	±0.125 cm
8.67E-01	±0.016 s	-1.55E+01	±0.125 cm	-3.98E-01	±0.125 cm
9.00E-01	±0.016 s	-1.66E+01	±0.125 cm	-4.18E-01	±0.125 cm
9.33E-01	±0.016 s	-1.77E+01	±0.125 cm	-4.01E-01	±0.125 cm
9.67E-01	±0.016 s	-1.89E+01	±0.125 cm	-3.96E-01	±0.125 cm
1.00E+00	±0.016 s	-2.01E+01	±0.125 cm	-3.91E-01	±0.125 cm
1.03E+00	±0.016 s	-2.13E+01	±0.125 cm	-4.38E-01	±0.125 cm
1.07E+00	±0.016 s	-2.25E+01	±0.125 cm	-4.12E-01	±0.125 cm
1.10E+00	±0.016 s	-2.38E+01	±0.125 cm	-4.46E-01	±0.125 cm
1.13E+00	±0.016 s	-2.51E+01	±0.125 cm	-5.12E-01	±0.125 cm
1.17E+00	±0.016 s	-2.65E+01	±0.125 cm	-6.07E-01	±0.125 cm
1.20E+00	±0.016 s	-2.79E+01	±0.125 cm	-6.10E-01	±0.125 cm
1.23E+00	±0.016 s	-2.93E+01	±0.125 cm	-6.50E-01	±0.125 cm
1.27E+00	±0.016 s	-3.07E+01	±0.125 cm	-6.43E-01	±0.125 cm
1.30E+00	±0.016 s	-3.22E+01	±0.125 cm	-6.61E-01	±0.125 cm
1.33E+00	±0.016 s	-3.36E+01	±0.125 cm	-6.36E-01	±0.125 cm
1.37E+00	±0.016 s	-3.52E+01	±0.125 cm	-6.85E-01	±0.125 cm
1.40E+00	±0.016 s	-3.68E+01	±0.125 cm	-7.61E-01	±0.125 cm
1.43E+00	±0.016 s	-3.83E+01	±0.125 cm	-7.69E-01	±0.125 cm
1.47E+00	±0.016 s	-4.00E+01	±0.125 cm	-8.43E-01	±0.125 cm
1.50E+00	±0.016 s	-4.16E+01	±0.125 cm	-9.17E-01	±0.125 cm
1.53E+00	±0.016 s	-4.33E+01	±0.125 cm	-1.01E+00	±0.125 cm
1.57E+00	±0.016 s	-4.50E+01	±0.125 cm	-1.08E+00	±0.125 cm
1.60E+00	±0.016 s	-4.68E+01	±0.125 cm	-1.11E+00	±0.125 cm
1.63E+00	±0.016 s	-4.86E+01	±0.125 cm	-1.1CE+00	±0.125 cm
1.67E+00	±0.016 s	-5.04E+01	±0.125 cm	-1.15E+00	±0.125 cm
1.70E+00	±0.016 s	-5.22E+01	±0.125 cm	-1.12E+00	±0.125 cm
1.73E+00	±0.016 s	-5.41E+01	±0.125 cm	-1.21E+00	±0.125 cm
1.77E+00	±0.016 s	-5.60E+01	±0.125 cm	-1.32E+00	±0.125 cm
1.80E+00	±0.016 s	-5.79E+01	±0.125 cm	-1.47E+00	±0.125 cm
1.83E+00	±0.016 s	-5.98E+01	±0.125 cm	-1.52E+00	±0.125 cm
1.87E+00	±0.016 s	-6.18E+01	±0.125 cm	-1.56E+00	±0.125 cm
1.90E+00	±0.016 s	-6.38E+01	±0.125 cm	-1.56E+00	±0.125 cm
1.93E+00	±0.016 s	-6.61E+01	±0.125 cm	-1.61E+00	±0.125 cm
1.97E+00	±0.016 s	-6.82E+01	±0.125 cm	-1.66E+00	±0.125 cm
2.00E+00	±0.016 s	-7.02E+01	±0.125 cm	-1.74E+00	±0.125 cm
2.03E+00	±0.016 s	-7.23E+01	±0.125 cm	-1.81E+00	±0.125 cm
2.07E+00	±0.016 s	-7.44E+01	±0.125 cm	-2.01E+00	±0.125 cm
2.10E+00	±0.016 s	-7.66E+01	±0.125 cm	-2.00E+00	±0.125 cm
2.13E+00	±0.016 s	-7.87E+01	±0.125 cm	-2.06E+00	±0.125 cm
2.17E+00	±0.016 s	-8.08E+01	±0.125 cm	-2.08E+00	±0.125 cm
2.20E+00	±0.016 s	-8.29E+01	±0.125 cm	-2.11E+00	±0.125 cm
2.23E+00	±0.016 s	-8.50E+01	±0.125 cm	-2.42E+00	±0.125 cm
2.27E+00	±0.016 s	-8.72E+01	±0.125 cm	-2.66E+00	±0.125 cm
2.30E+00	±0.016 s	-8.95E+01	±0.125 cm	-2.57E+00	±0.125 cm
2.33E+00	±0.016 s	-9.18E+01	±0.125 cm	-2.44E+00	±0.125 cm
2.37E+00	±0.016 s	-9.40E+01	±0.125 cm	-2.48E+00	±0.125 cm
2.40E+00	±0.016 s	-9.62E+01	±0.125 cm	-2.52E+00	±0.125 cm
2.43E+00	±0.016 s	-9.85E+01	±0.125 cm	-2.61E+00	±0.125 cm
2.47E+00	±0.016 s	-1.01E+02	±0.125 cm	-2.71E+00	±0.125 cm
2.50E+00	±0.016 s	-1.03E+02	±0.125 cm	-2.82E+00	±0.125 cm
2.53E+00	±0.016 s	-1.05E+02	±0.125 cm	-2.90E+00	±0.125 cm
2.57E+00	±0.016 s	-1.05E+02	±0.125 cm	-2.90E+00	±0.125 cm

Figura 38: Tabla de datos del primer sistema de referencia a 3 grados

Video 2 Parte 1					
t[s]	Incert	x[cm]	Incert	y[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-2.29E-01	±0,125 cm	5.08E-02	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-4.95E-01	±0,125 cm	2.32E-02	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-7.71E-01	±0,125 cm	-2.02E-02	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-1.18E+00	±0,125 cm	0.00E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-1.70E+00	±0,125 cm	-2.08E-02	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-2.32E+00	±0,125 cm	-1.51E-01	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-3.03E+00	±0,125 cm	-1.82E-01	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-3.84E+00	±0,125 cm	-2.79E-01	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-4.74E+00	±0,125 cm	-2.84E-01	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-5.73E+00	±0,125 cm	-3.98E-01	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-6.75E+00	±0,125 cm	-5.51E-01	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-7.95E+00	±0,125 cm	-6.55E-01	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-9.20E+00	±0,125 cm	-7.11E-01	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-1.05E+01	±0,125 cm	-8.73E-01	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-1.20E+01	±0,125 cm	-9.78E-01	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-1.36E+01	±0,125 cm	-1.05E+00	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-1.52E+01	±0,125 cm	-1.20E+00	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-1.69E+01	±0,125 cm	-1.34E+00	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	-1.88E+01	±0,125 cm	-1.50E+00	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	-2.07E+01	±0,125 cm	-1.66E+00	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	-2.28E+01	±0,125 cm	-1.82E+00	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	-2.49E+01	±0,125 cm	-2.01E+00	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	-2.71E+01	±0,125 cm	-2.23E+00	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	-2.94E+01	±0,125 cm	-2.38E+00	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	-3.18E+01	±0,125 cm	-2.65E+00	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	-3.43E+01	±0,125 cm	-2.85E+00	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	-3.69E+01	±0,125 cm	-3.05E+00	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	-3.95E+01	±0,125 cm	-3.40E+00	±0,125 cm
9.33E-01	±0,016 s	-4.23E+01	±0,125 cm	-3.71E+00	±0,125 cm
9.67E-01	±0,016 s	-4.51E+01	±0,125 cm	-3.84E+00	±0,125 cm
1.00E+00	±0,016 s	-4.80E+01	±0,125 cm	-4.21E+00	±0,125 cm
1.03E+00	±0,016 s	-5.10E+01	±0,125 cm	-4.40E+00	±0,125 cm
1.07E+00	±0,016 s	-5.41E+01	±0,125 cm	-4.76E+00	±0,125 cm
1.10E+00	±0,016 s	-5.72E+01	±0,125 cm	-4.95E+00	±0,125 cm
1.13E+00	±0,016 s	-6.05E+01	±0,125 cm	-5.33E+00	±0,125 cm
1.17E+00	±0,016 s	-6.38E+01	±0,125 cm	-5.66E+00	±0,125 cm
1.20E+00	±0,016 s	-6.71E+01	±0,125 cm	-5.90E+00	±0,125 cm
1.23E+00	±0,016 s	-7.06E+01	±0,125 cm	-6.32E+00	±0,125 cm
1.27E+00	±0,016 s	-7.40E+01	±0,125 cm	-6.60E+00	±0,125 cm
1.30E+00	±0,016 s	-7.76E+01	±0,125 cm	-6.91E+00	±0,125 cm
1.33E+00	±0,016 s	-8.09E+01	±0,125 cm	-7.34E+00	±0,125 cm
1.37E+00	±0,016 s	-8.47E+01	±0,125 cm	-7.56E+00	±0,125 cm
1.40E+00	±0,016 s	-8.83E+01	±0,125 cm	-7.97E+00	±0,125 cm
1.43E+00	±0,016 s	-9.20E+01	±0,125 cm	-8.36E+00	±0,125 cm
1.47E+00	±0,016 s	-9.57E+01	±0,125 cm	-8.66E+00	±0,125 cm
1.50E+00	±0,016 s	-9.95E+01	±0,125 cm	-8.92E+00	±0,125 cm
1.53E+00	±0,016 s	-1.03E+02	±0,125 cm	-9.38E+00	±0,125 cm
1.57E+00	±0,016 s	-1.07E+02	±0,125 cm	-9.71E+00	±0,125 cm
1.60E+00	±0,016 s	-1.08E+02	±0,125 cm	-9.72E+00	±0,125 cm

Figura 39: Tabla de datos del primer sistema de referencia a 6 grados

Video 3 Parte 1					
t[s]	Insert	x[cm]	Insert	y[cm]	Insert
0.00E+00	±0,016 s	-2.05E-01	±0,125 cm	-2.05E-01	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-4.27E-01	±0,125 cm	-2.82E-01	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-6.83E-01	±0,125 cm	-2.74E-01	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-1.23E+00	±0,125 cm	-2.96E-01	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-1.84E+00	±0,125 cm	-4.60E-01	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-2.67E+00	±0,125 cm	-5.40E-01	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-3.59E+00	±0,125 cm	-6.89E-01	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-4.76E+00	±0,125 cm	-7.63E-01	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-5.99E+00	±0,125 cm	-8.19E-01	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-7.37E+00	±0,125 cm	-1.20E+00	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-9.02E+00	±0,125 cm	-1.39E+00	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-1.08E+01	±0,125 cm	-1.57E+00	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-1.27E+01	±0,125 cm	-1.99E+00	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-1.47E+01	±0,125 cm	-2.21E+00	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-1.69E+01	±0,125 cm	-2.53E+00	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-1.92E+01	±0,125 cm	-2.89E+00	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-2.18E+01	±0,125 cm	-3.19E+00	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-2.45E+01	±0,125 cm	-3.50E+00	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	-2.73E+01	±0,125 cm	-3.98E+00	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	-3.03E+01	±0,125 cm	-4.49E+00	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	-3.34E+01	±0,125 cm	-4.95E+00	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	-3.66E+01	±0,125 cm	-5.43E+00	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	-4.00E+01	±0,125 cm	-5.86E+00	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	-4.35E+01	±0,125 cm	-6.41E+00	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	-4.72E+01	±0,125 cm	-7.06E+00	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	-5.10E+01	±0,125 cm	-7.54E+00	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	-5.49E+01	±0,125 cm	-8.20E+00	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	-5.89E+01	±0,125 cm	-8.82E+00	±0,125 cm
9.33E-01	±0,016 s	-6.30E+01	±0,125 cm	-9.43E+00	±0,125 cm
9.67E-01	±0,016 s	-6.71E+01	±0,125 cm	-1.02E+01	±0,125 cm
1.00E+00	±0,016 s	-7.14E+01	±0,125 cm	-1.09E+01	±0,125 cm
1.03E+00	±0,016 s	-7.58E+01	±0,125 cm	-1.15E+01	±0,125 cm
1.07E+00	±0,016 s	-8.02E+01	±0,125 cm	-1.25E+01	±0,125 cm
1.10E+00	±0,016 s	-8.49E+01	±0,125 cm	-1.33E+01	±0,125 cm
1.13E+00	±0,016 s	-8.94E+01	±0,125 cm	-1.40E+01	±0,125 cm
1.17E+00	±0,016 s	-9.40E+01	±0,125 cm	-1.47E+01	±0,125 cm
1.20E+00	±0,016 s	-9.85E+01	±0,125 cm	-1.53E+01	±0,125 cm
1.23E+00	±0,016 s	-1.03E+02	±0,125 cm	-1.61E+01	±0,125 cm
1.27E+00	±0,016 s	-1.08E+02	±0,125 cm	-1.67E+01	±0,125 cm
1.30E+00	±0,016 s	-1.08E+02	±0,125 cm	-1.67E+01	±0,125 cm

Figura 40: Tabla de datos del primer sistema de referencia a 9 grados

video 4 parte 1					
t[s]	Incert	x[cm]	Incert	y[cm]	Incert
0.00E+00	+0,016 s	-7.81E-03	+0,125 cm	-2.17E-01	+0,125 cm
3.33E-02	+0,016 s	-1.96E-01	+0,125 cm	-2.07E-01	+0,125 cm
6.67E-02	+0,016 s	-4.59E-01	+0,125 cm	-2.10E-01	+0,125 cm
1.00E-01	+0,016 s	-8.93E-01	+0,125 cm	-2.09E-01	+0,125 cm
1.33E-01	+0,016 s	-1.61E+00	+0,125 cm	-3.17E-01	+0,125 cm
1.67E-01	+0,016 s	-2.39E+00	+0,125 cm	-5.46E-01	+0,125 cm
2.00E-01	+0,016 s	-3.52E+00	+0,125 cm	-6.93E-01	+0,125 cm
2.33E-01	+0,016 s	-4.76E+00	+0,125 cm	-1.08E+00	+0,125 cm
2.67E-01	+0,016 s	-6.24E+00	+0,125 cm	-1.32E+00	+0,125 cm
3.00E-01	+0,016 s	-7.91E+00	+0,125 cm	-1.67E+00	+0,125 cm
3.33E-01	+0,016 s	-9.80E+00	+0,125 cm	-2.08E+00	+0,125 cm
3.67E-01	+0,016 s	-1.19E+01	+0,125 cm	-2.44E+00	+0,125 cm
4.00E-01	+0,016 s	-1.43E+01	+0,125 cm	-2.85E+00	+0,125 cm
4.33E-01	+0,016 s	-1.67E+01	+0,125 cm	-3.37E+00	+0,125 cm
4.67E-01	+0,016 s	-1.95E+01	+0,125 cm	-3.91E+00	+0,125 cm
5.00E-01	+0,016 s	-2.24E+01	+0,125 cm	-4.50E+00	+0,125 cm
5.33E-01	+0,016 s	-2.55E+01	+0,125 cm	-5.15E+00	+0,125 cm
5.67E-01	+0,016 s	-2.88E+01	+0,125 cm	-5.75E+00	+0,125 cm
6.00E-01	+0,016 s	-3.24E+01	+0,125 cm	-6.47E+00	+0,125 cm
6.33E-01	+0,016 s	-3.61E+01	+0,125 cm	-7.22E+00	+0,125 cm
6.67E-01	+0,016 s	-3.99E+01	+0,125 cm	-8.11E+00	+0,125 cm
7.00E-01	+0,016 s	-4.39E+01	+0,125 cm	-8.91E+00	+0,125 cm
7.33E-01	+0,016 s	-4.82E+01	+0,125 cm	-9.75E+00	+0,125 cm
7.67E-01	+0,016 s	-5.25E+01	+0,125 cm	-1.07E+01	+0,125 cm
8.00E-01	+0,016 s	-5.70E+01	+0,125 cm	-1.16E+01	+0,125 cm
8.33E-01	+0,016 s	-6.16E+01	+0,125 cm	-1.26E+01	+0,125 cm
8.67E-01	+0,016 s	-6.64E+01	+0,125 cm	-1.36E+01	+0,125 cm
9.00E-01	+0,016 s	-7.12E+01	+0,125 cm	-1.46E+01	+0,125 cm
9.33E-01	+0,016 s	-7.62E+01	+0,125 cm	-1.57E+01	+0,125 cm
9.67E-01	+0,016 s	-8.11E+01	+0,125 cm	-1.67E+01	+0,125 cm
1.00E+00	+0,016 s	-8.63E+01	+0,125 cm	-1.75E+01	+0,125 cm
1.03E+00	+0,016 s	-9.15E+01	+0,125 cm	-1.90E+01	+0,125 cm
1.07E+00	+0,016 s	-9.68E+01	+0,125 cm	-2.01E+01	+0,125 cm
1.10E+00	+0,016 s	-1.02E+02	+0,125 cm	-2.15E+01	+0,125 cm
1.13E+00	+0,016 s	-1.06E+02	+0,125 cm	-2.26E+01	+0,125 cm

Figura 41: Tabla de datos del primer sistema de referencia a 12 grados

Video 5 Parte 1					
t[s]	Incert	x[cm]	Incert	y[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-1.51E-01	±0,125 cm	-5.77E-01	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-2.36E-01	±0,125 cm	-4.48E-01	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-4.49E-01	±0,125 cm	-4.19E-01	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-8.03E-01	±0,125 cm	-6.49E-01	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-1.49E+00	±0,125 cm	-7.34E-01	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-2.30E+00	±0,125 cm	-1.14E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-3.49E+00	±0,125 cm	-1.28E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-4.89E+00	±0,125 cm	-1.45E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-6.44E+00	±0,125 cm	-2.01E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-8.33E+00	±0,125 cm	-2.32E+00	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-1.04E+01	±0,125 cm	-2.94E+00	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-1.28E+01	±0,125 cm	-3.41E+00	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-1.53E+01	±0,125 cm	-4.16E+00	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-1.82E+01	±0,125 cm	-4.83E+00	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-2.13E+01	±0,125 cm	-5.70E+00	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-2.47E+01	±0,125 cm	-6.47E+00	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-2.83E+01	±0,125 cm	-7.29E+00	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-3.21E+01	±0,125 cm	-8.37E+00	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	-3.62E+01	±0,125 cm	-9.35E+00	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	-4.06E+01	±0,125 cm	-1.04E+01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	-4.51E+01	±0,125 cm	-1.16E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	-4.99E+01	±0,125 cm	-1.28E+01	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	-5.49E+01	±0,125 cm	-1.40E+01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	-6.00E+01	±0,125 cm	-1.54E+01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	-6.55E+01	±0,125 cm	-1.68E+01	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	-7.09E+01	±0,125 cm	-1.82E+01	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	-7.65E+01	±0,125 cm	-1.97E+01	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	-8.23E+01	±0,125 cm	-2.12E+01	±0,125 cm
9.33E-01	±0,016 s	-8.81E+01	±0,125 cm	-2.28E+01	±0,125 cm
9.67E-01	±0,016 s	-9.41E+01	±0,125 cm	-2.44E+01	±0,125 cm
1.00E+00	±0,016 s	-1.00E+02	±0,125 cm	-2.61E+01	±0,125 cm
1.03E+00	±0,016 s	-1.06E+02	±0,125 cm	-2.76E+01	±0,125 cm
1.07E+00	±0,016 s	-1.07E+02	±0,125 cm	-2.77E+01	±0,125 cm

Figura 42: Tabla de datos del primer sistema de referencia a 15 grados

Video 6 Parte 1					
t[s]	Incert	x[cm]	Incert	y[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-3.05E-01	±0,125 cm	2.72E-02	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-4.03E-01	±0,125 cm	-7.06E-02	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-6.18E-01	±0,125 cm	-1.19E-01	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-1.11E+00	±0,125 cm	-4.25E-01	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-1.90E+00	±0,125 cm	-5.63E-01	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-2.98E+00	±0,125 cm	-7.90E-01	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-4.29E+00	±0,125 cm	-1.05E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-5.92E+00	±0,125 cm	-1.58E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-7.84E+00	±0,125 cm	-2.15E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-1.01E+01	±0,125 cm	-2.81E+00	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-1.26E+01	±0,125 cm	-3.61E+00	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-1.55E+01	±0,125 cm	-4.34E+00	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-1.85E+01	±0,125 cm	-5.30E+00	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-2.20E+01	±0,125 cm	-6.37E+00	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-2.57E+01	±0,125 cm	-7.45E+00	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-2.98E+01	±0,125 cm	-8.67E+00	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-3.42E+01	±0,125 cm	-1.00E+01	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-3.89E+01	±0,125 cm	-1.14E+01	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	-4.38E+01	±0,125 cm	-1.29E+01	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	-4.90E+01	±0,125 cm	-1.45E+01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	-5.44E+01	±0,125 cm	-1.62E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	-6.01E+01	±0,125 cm	-1.80E+01	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	-6.61E+01	±0,125 cm	-1.99E+01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	-7.22E+01	±0,125 cm	-2.19E+01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	-7.86E+01	±0,125 cm	-2.35E+01	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	-8.51E+01	±0,125 cm	-2.60E+01	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	-9.19E+01	±0,125 cm	-2.81E+01	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	-9.88E+01	±0,125 cm	-3.04E+01	±0,125 cm
9.33E-01	±0,016 s	-1.06E+02	±0,125 cm	-3.26E+01	±0,125 cm
9.67E-01	±0,016 s	-1.07E+02	±0,125 cm	-3.33E+01	±0,125 cm

Figura 43: Tabla de datos del primer sistema de referencia a 18 grados

Video 7 Parte 1					
t[s]	Incert	x[cm]	Incert	y[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-3.25E-01	±0,125 cm	-5.40E-01	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-5.85E-01	±0,125 cm	-5.24E-01	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-9.44E-01	±0,125 cm	-8.51E-01	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-1.80E+00	±0,125 cm	-1.07E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-2.97E+00	±0,125 cm	-1.55E+00	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-4.42E+00	±0,125 cm	-2.22E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-6.16E+00	±0,125 cm	-2.82E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-8.24E+00	±0,125 cm	-3.51E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-1.07E+01	±0,125 cm	-4.06E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-1.36E+01	±0,125 cm	-5.07E+00	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-1.65E+01	±0,125 cm	-6.36E+00	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-2.06E+01	±0,125 cm	-7.48E+00	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-2.47E+01	±0,125 cm	-8.91E+00	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-2.90E+01	±0,125 cm	-1.08E+01	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-3.39E+01	±0,125 cm	-1.21E+01	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-3.90E+01	±0,125 cm	-1.35E+01	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-4.46E+01	±0,125 cm	-1.59E+01	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-5.07E+01	±0,125 cm	-1.80E+01	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	-5.71E+01	±0,125 cm	-2.04E+01	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	-6.38E+01	±0,125 cm	-2.30E+01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	-7.10E+01	±0,125 cm	-2.57E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	-7.85E+01	±0,125 cm	-2.84E+01	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	-8.63E+01	±0,125 cm	-3.12E+01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	-9.45E+01	±0,125 cm	-3.44E+01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	-1.03E+02	±0,125 cm	-3.76E+01	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	-1.11E+02	±0,125 cm	-4.07E+01	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	-1.11E+02	±0,125 cm	-4.05E+01	±0,125 cm

Figura 44: Tabla de datos del primer sistema de referencia a 21 grados

Video 1 Parte 2			
t[s]	Incert	x[cm]	Incert
0.00E+00	+0.016 s	-2.07E-03	+0.125 cm
3.33E-02	+0.016 s	-3.10E-02	+0.125 cm
6.67E-02	+0.016 s	-1.99E-01	+0.125 cm
1.00E-01	+0.016 s	-2.86E-01	+0.125 cm
1.33E-01	+0.016 s	-4.52E-01	+0.125 cm
1.67E-01	+0.016 s	-7.23E-01	+0.125 cm
2.00E-01	+0.016 s	-1.06E+00	+0.125 cm
2.33E-01	+0.016 s	-1.38E+00	+0.125 cm
2.67E-01	+0.016 s	-1.74E+00	+0.125 cm
3.00E-01	+0.016 s	-2.16E+00	+0.125 cm
3.33E-01	+0.016 s	-2.49E+00	+0.125 cm
3.67E-01	+0.016 s	-2.96E+00	+0.125 cm
4.00E-01	+0.016 s	-3.47E+00	+0.125 cm
4.33E-01	+0.016 s	-4.02E+00	+0.125 cm
4.67E-01	+0.016 s	-4.69E+00	+0.125 cm
5.00E-01	+0.016 s	-5.37E+00	+0.125 cm
5.33E-01	+0.016 s	-6.09E+00	+0.125 cm
5.67E-01	+0.016 s	-6.79E+00	+0.125 cm
6.00E-01	+0.016 s	-7.53E+00	+0.125 cm
6.33E-01	+0.016 s	-8.31E+00	+0.125 cm
6.67E-01	+0.016 s	-9.23E+00	+0.125 cm
7.00E-01	+0.016 s	-1.01E+01	+0.125 cm
7.33E-01	+0.016 s	-1.10E+01	+0.125 cm
7.67E-01	+0.016 s	-1.20E+01	+0.125 cm
8.00E-01	+0.016 s	-1.31E+01	+0.125 cm
8.33E-01	+0.016 s	-1.41E+01	+0.125 cm
8.67E-01	+0.016 s	-1.53E+01	+0.125 cm
9.00E-01	+0.016 s	-1.64E+01	+0.125 cm
9.33E-01	+0.016 s	-1.76E+01	+0.125 cm
9.67E-01	+0.016 s	-1.89E+01	+0.125 cm
1.00E+00	+0.016 s	-2.02E+01	+0.125 cm
1.03E+00	+0.016 s	-2.15E+01	+0.125 cm
1.07E+00	+0.016 s	-2.28E+01	+0.125 cm
1.10E+00	+0.016 s	-2.43E+01	+0.125 cm
1.13E+00	+0.016 s	-2.57E+01	+0.125 cm
1.17E+00	+0.016 s	-2.73E+01	+0.125 cm
1.20E+00	+0.016 s	-2.89E+01	+0.125 cm
1.23E+00	+0.016 s	-3.04E+01	+0.125 cm
1.27E+00	+0.016 s	-3.21E+01	+0.125 cm
1.30E+00	+0.016 s	-3.37E+01	+0.125 cm
1.33E+00	+0.016 s	-3.55E+01	+0.125 cm
1.37E+00	+0.016 s	-3.72E+01	+0.125 cm
1.40E+00	+0.016 s	-3.90E+01	+0.125 cm
1.43E+00	+0.016 s	-4.09E+01	+0.125 cm
1.47E+00	+0.016 s	-4.28E+01	+0.125 cm
1.50E+00	+0.016 s	-4.48E+01	+0.125 cm
1.53E+00	+0.016 s	-4.67E+01	+0.125 cm
1.57E+00	+0.016 s	-4.87E+01	+0.125 cm
1.60E+00	+0.016 s	-5.08E+01	+0.125 cm
1.63E+00	+0.016 s	-5.29E+01	+0.125 cm
1.67E+00	+0.016 s	-5.51E+01	+0.125 cm
1.70E+00	+0.016 s	-5.72E+01	+0.125 cm
1.73E+00	+0.016 s	-5.95E+01	+0.125 cm
1.77E+00	+0.016 s	-6.17E+01	+0.125 cm
1.80E+00	+0.016 s	-6.40E+01	+0.125 cm
1.83E+00	+0.016 s	-6.63E+01	+0.125 cm
1.87E+00	+0.016 s	-6.88E+01	+0.125 cm
1.90E+00	+0.016 s	-7.11E+01	+0.125 cm
1.93E+00	+0.016 s	-7.36E+01	+0.125 cm
1.97E+00	+0.016 s	-7.60E+01	+0.125 cm
2.00E+00	+0.016 s	-7.85E+01	+0.125 cm
2.03E+00	+0.016 s	-8.11E+01	+0.125 cm
2.07E+00	+0.016 s	-8.37E+01	+0.125 cm
2.10E+00	+0.016 s	-8.62E+01	+0.125 cm
2.13E+00	+0.016 s	-8.88E+01	+0.125 cm
2.17E+00	+0.016 s	-9.15E+01	+0.125 cm
2.20E+00	+0.016 s	-9.42E+01	+0.125 cm
2.23E+00	+0.016 s	-9.70E+01	+0.125 cm
2.27E+00	+0.016 s	-9.99E+01	+0.125 cm
2.30E+00	+0.016 s	-1.03E+02	+0.125 cm
2.33E+00	+0.016 s	-1.05E+02	+0.125 cm
2.37E+00	+0.016 s	-1.08E+02	+0.125 cm
2.40E+00	+0.016 s	-1.11E+02	+0.125 cm
2.43E+00	+0.016 s	-1.14E+02	+0.125 cm
2.47E+00	+0.016 s	-1.14E+02	+0.125 cm

Figura 45: Tabla de datos del segundo sistema de referencia a 3 grados

Video 2 Parte 2			
t[s]	Incert	x[cm]	Incert
0.00E+00	±0.016 s	-3.74E-01	±0.125 cm
3.33E-02	±0.016 s	-5.41E-01	±0.125 cm
6.67E-02	±0.016 s	-7.77E-01	±0.125 cm
1.00E-01	±0.016 s	-1.10E+00	±0.125 cm
1.33E-01	±0.016 s	-1.59E+00	±0.125 cm
1.67E-01	±0.016 s	-2.11E+00	±0.125 cm
2.00E-01	±0.016 s	-2.77E+00	±0.125 cm
2.33E-01	±0.016 s	-3.49E+00	±0.125 cm
2.67E-01	±0.016 s	-4.31E+00	±0.125 cm
3.00E-01	±0.016 s	-5.29E+00	±0.125 cm
3.33E-01	±0.016 s	-6.33E+00	±0.125 cm
3.67E-01	±0.016 s	-7.49E+00	±0.125 cm
4.00E-01	±0.016 s	-8.77E+00	±0.125 cm
4.33E-01	±0.016 s	-1.01E+01	±0.125 cm
4.67E-01	±0.016 s	-1.16E+01	±0.125 cm
5.00E-01	±0.016 s	-1.31E+01	±0.125 cm
5.33E-01	±0.016 s	-1.48E+01	±0.125 cm
5.67E-01	±0.016 s	-1.66E+01	±0.125 cm
6.00E-01	±0.016 s	-1.85E+01	±0.125 cm
6.33E-01	±0.016 s	-2.05E+01	±0.125 cm
6.67E-01	±0.016 s	-2.26E+01	±0.125 cm
7.00E-01	±0.016 s	-2.48E+01	±0.125 cm
7.33E-01	±0.016 s	-2.71E+01	±0.125 cm
7.67E-01	±0.016 s	-2.95E+01	±0.125 cm
8.00E-01	±0.016 s	-3.20E+01	±0.125 cm
8.33E-01	±0.016 s	-3.46E+01	±0.125 cm
8.67E-01	±0.016 s	-3.74E+01	±0.125 cm
9.00E-01	±0.016 s	-4.01E+01	±0.125 cm
9.33E-01	±0.016 s	-4.30E+01	±0.125 cm
9.67E-01	±0.016 s	-4.61E+01	±0.125 cm
1.00E+00	±0.016 s	-4.92E+01	±0.125 cm
1.03E+00	±0.016 s	-5.24E+01	±0.125 cm
1.07E+00	±0.016 s	-5.57E+01	±0.125 cm
1.10E+00	±0.016 s	-5.92E+01	±0.125 cm
1.13E+00	±0.016 s	-6.27E+01	±0.125 cm
1.17E+00	±0.016 s	-6.62E+01	±0.125 cm
1.20E+00	±0.016 s	-6.99E+01	±0.125 cm
1.23E+00	±0.016 s	-7.36E+01	±0.125 cm
1.27E+00	±0.016 s	-7.74E+01	±0.125 cm
1.30E+00	±0.016 s	-8.13E+01	±0.125 cm
1.33E+00	±0.016 s	-8.53E+01	±0.125 cm
1.37E+00	±0.016 s	-8.93E+01	±0.125 cm
1.40E+00	±0.016 s	-9.34E+01	±0.125 cm
1.43E+00	±0.016 s	-9.76E+01	±0.125 cm
1.47E+00	±0.016 s	-1.02E+02	±0.125 cm
1.50E+00	±0.016 s	-1.06E+02	±0.125 cm
1.53E+00	±0.016 s	-1.10E+02	±0.125 cm
1.57E+00	±0.016 s	-1.12E+02	±0.125 cm

Figura 46: Tabla de datos del segundo sistema de referencia a 6 grados

Video 3 Parte 2			
t[s]	Incert	x[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-1.18E-01	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-3.96E-01	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-8.58E-01	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-1.41E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-2.15E+00	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-3.01E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-4.01E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-5.19E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-6.53E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-8.04E+00	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-9.69E+00	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-1.14E+01	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-1.34E+01	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-1.55E+01	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-1.78E+01	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-2.02E+01	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-2.28E+01	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-2.55E+01	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	-2.84E+01	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	-3.15E+01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	-3.47E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	-3.81E+01	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	-4.16E+01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	-4.53E+01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	-4.91E+01	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	-5.31E+01	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	-5.72E+01	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	-6.15E+01	±0,125 cm
9.33E-01	±0,016 s	-6.59E+01	±0,125 cm
9.67E-01	±0,016 s	-7.04E+01	±0,125 cm
1.00E+00	±0,016 s	-7.50E+01	±0,125 cm
1.03E+00	±0,016 s	-7.98E+01	±0,125 cm
1.07E+00	±0,016 s	-8.46E+01	±0,125 cm
1.10E+00	±0,016 s	-8.96E+01	±0,125 cm
1.13E+00	±0,016 s	-9.46E+01	±0,125 cm
1.17E+00	±0,016 s	-9.97E+01	±0,125 cm
1.20E+00	±0,016 s	-1.05E+02	±0,125 cm
1.23E+00	±0,016 s	-1.09E+02	±0,125 cm

Figura 47: Tabla de datos del segundo sistema de referencia a 9 grados

Video 4 Parte 2			
t[s]	Incert	x[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-1.44E+00	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-1.88E+00	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-2.41E+00	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-3.06E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-3.95E+00	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-5.05E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-6.28E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-7.77E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-9.40E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-1.12E+01	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-1.32E+01	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-1.54E+01	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-1.78E+01	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-2.04E+01	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-2.33E+01	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-2.63E+01	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-2.95E+01	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-3.31E+01	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	-3.68E+01	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	-4.07E+01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	-4.49E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	-4.92E+01	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	-5.38E+01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	-5.85E+01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	-6.35E+01	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	-6.86E+01	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	-7.40E+01	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	-7.95E+01	±0,125 cm
9.33E-01	±0,016 s	-8.52E+01	±0,125 cm
9.67E-01	±0,016 s	-9.10E+01	±0,125 cm
1.00E+00	±0,016 s	-9.70E+01	±0,125 cm
1.03E+00	±0,016 s	-1.03E+02	±0,125 cm
1.07E+00	±0,016 s	-1.09E+02	±0,125 cm
1.10E+00	±0,016 s	-1.13E+02	±0,125 cm

Figura 48: Tabla de datos del segundo sistema de referencia a 12 grados

Video 5 Parte 2			
t[s]	Incерт	x(cm)	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-3.37E-02	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-1.13E-01	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-2.90E-01	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-5.84E-01	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-1.13E+00	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-1.80E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-2.75E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-3.98E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-5.46E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-7.22E+00	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-9.17E+00	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-1.14E+01	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-1.39E+01	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-1.67E+01	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-1.97E+01	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-2.30E+01	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-2.66E+01	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-3.05E+01	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	-3.46E+01	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	-3.90E+01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	-4.36E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	-4.85E+01	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	-5.37E+01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	-5.91E+01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	-6.47E+01	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	-7.05E+01	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	-7.65E+01	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	-8.27E+01	±0,125 cm
9.33E-01	±0,016 s	-8.91E+01	±0,125 cm
9.67E-01	±0,016 s	-9.56E+01	±0,125 cm
1.00E+00	±0,016 s	-1.02E+02	±0,125 cm
1.03E+00	±0,016 s	-1.09E+02	±0,125 cm
1.07E+00	±0,016 s	-1.11E+02	±0,125 cm

Figura 49: Tabla de datos del segundo sistema de referencia a 15 grados

Video 6 Parte 2			
t[s]	Incert	x[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-3.31E-02	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-4.07E-01	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-1.08E+00	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-2.09E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-3.29E+00	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-4.85E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-6.66E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-8.83E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-1.13E+01	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-1.41E+01	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-1.73E+01	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-2.08E+01	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-2.46E+01	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-2.88E+01	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-3.34E+01	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-3.83E+01	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-4.34E+01	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-4.90E+01	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	-5.50E+01	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	-6.13E+01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	-6.79E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	-7.48E+01	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	-8.21E+01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	-8.96E+01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	-9.75E+01	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	-1.06E+02	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	-1.14E+02	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	-1.16E+02	±0,125 cm

Figura 50: Tabla de datos del segundo sistema de referencia a 18 grados

Video7 Parte 2			
t[s]	Incert	x[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-3.55E-02	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-3.31E-01	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-7.55E-01	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-1.44E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-2.33E+00	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-3.88E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-5.36E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-7.39E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-9.69E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-1.23E+01	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-1.53E+01	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-1.87E+01	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-2.24E+01	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-2.66E+01	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-3.12E+01	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-3.63E+01	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-4.18E+01	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-4.77E+01	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	-5.41E+01	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	-6.08E+01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	-6.80E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	-7.56E+01	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	-8.30E+01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	-9.23E+01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	-1.01E+02	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	-1.10E+02	±0,125 cm

Figura 51: Tabla de datos del segundo sistema de referencia a 21 grados

Video 1 Parte 3			
t[s]	Incert.	y[cm]	Incert.
0.00E+00	±0,016 s	8.48E+00	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	8.57E+00	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	8.77E+00	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	8.95E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	9.01E+00	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	9.03E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	9.15E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	9.37E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	9.54E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	9.53E+00	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	9.71E+00	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	9.99E+00	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	1.01E+01	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	1.03E+01	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	1.05E+01	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	1.06E+01	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	1.09E+01	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	1.12E+01	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	1.14E+01	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	1.17E+01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	1.20E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	1.23E+01	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	1.26E+01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	1.28E+01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	1.32E+01	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	1.36E+01	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	1.39E+01	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	1.43E+01	±0,125 cm
9.33E-01	±0,016 s	1.47E+01	±0,125 cm
9.67E-01	±0,016 s	1.51E+01	±0,125 cm
1.00E+00	±0,016 s	1.61E+01	±0,125 cm
1.03E+00	±0,016 s	1.66E+01	±0,125 cm
1.07E+00	±0,016 s	1.67E+01	±0,125 cm
1.10E+00	±0,016 s	1.80E+01	±0,125 cm
1.13E+00	±0,016 s	1.79E+01	±0,125 cm
1.17E+00	±0,016 s	1.85E+01	±0,125 cm
1.20E+00	±0,016 s	1.93E+01	±0,125 cm
1.23E+00	±0,016 s	2.01E+01	±0,125 cm
1.27E+00	±0,016 s	2.09E+01	±0,125 cm
1.30E+00	±0,016 s	2.19E+01	±0,125 cm
1.33E+00	±0,016 s	2.29E+01	±0,125 cm
1.37E+00	±0,016 s	2.44E+01	±0,125 cm
1.40E+00	±0,016 s	2.57E+01	±0,125 cm
1.43E+00	±0,016 s	2.71E+01	±0,125 cm
1.47E+00	±0,016 s	2.83E+01	±0,125 cm
1.50E+00	±0,016 s	2.97E+01	±0,125 cm
1.53E+00	±0,016 s	3.13E+01	±0,125 cm
1.57E+00	±0,016 s	3.35E+01	±0,125 cm
1.60E+00	±0,016 s	3.60E+01	±0,125 cm
1.63E+00	±0,016 s	3.88E+01	±0,125 cm
1.67E+00	±0,016 s	4.17E+01	±0,125 cm
1.70E+00	±0,016 s	4.47E+01	±0,125 cm
1.73E+00	±0,016 s	4.81E+01	±0,125 cm
1.77E+00	±0,016 s	5.29E+01	±0,125 cm
1.80E+00	±0,016 s	5.88E+01	±0,125 cm
1.83E+00	±0,016 s	6.14E+01	±0,125 cm

Figura 52: Tabla de datos del tercer sistema de referencia a 3 grados

Vide 2 Parte 3			
t[s]	Incert	y[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-9.64E+00	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-9.46E+00	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-9.20E+00	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-9.13E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-8.87E+00	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-8.64E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-8.53E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-8.16E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-8.04E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-7.59E+00	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-7.35E+00	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-7.03E+00	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-6.54E+00	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-6.21E+00	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-5.87E+00	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-5.38E+00	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-4.86E+00	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-4.29E+00	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	-3.73E+00	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	-2.96E+00	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	-2.32E+00	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	-1.47E+00	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	-5.57E-01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	4.31E-01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	1.55E+00	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	2.71E+00	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	4.19E+00	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	5.72E+00	±0,125 cm
9.33E-01	±0,016 s	7.62E+00	±0,125 cm
9.67E-01	±0,016 s	9.66E+00	±0,125 cm
1.00E+00	±0,016 s	1.19E+01	±0,125 cm
1.03E+00	±0,016 s	1.49E+01	±0,125 cm
1.07E+00	±0,016 s	1.81E+01	±0,125 cm
1.10E+00	±0,016 s	2.17E+01	±0,125 cm
1.13E+00	±0,016 s	2.68E+01	±0,125 cm
1.17E+00	±0,016 s	3.32E+01	±0,125 cm
1.20E+00	±0,016 s	4.04E+01	±0,125 cm
1.23E+00	±0,016 s	4.91E+01	±0,125 cm

Figura 53: Tabla de datos del tercer sistema de referencia a 6 grados

Video 3 Parte 3			
t[s]	Incert	y[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-8.92E-01	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-8.90E-01	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-8.66E-01	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-8.58E-01	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-7.22E-01	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-5.32E-01	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-4.42E-01	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-3.63E-01	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-2.48E-01	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-2.58E-02	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	8.69E-02	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	2.37E-01	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	5.61E-01	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	7.14E-01	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	1.08E+00	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	1.30E+00	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	1.56E+00	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	1.91E+00	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	2.37E+00	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	2.88E+00	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	3.34E+00	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	3.80E+00	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	4.40E+00	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	5.20E+00	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	5.94E+00	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	6.96E+00	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	8.13E+00	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	9.08E+00	±0,125 cm
9.33E-01	±0,016 s	1.04E+01	±0,125 cm
9.67E-01	±0,016 s	1.20E+01	±0,125 cm
1.00E+00	±0,016 s	1.40E+01	±0,125 cm
1.03E+00	±0,016 s	1.62E+01	±0,125 cm
1.07E+00	±0,016 s	1.90E+01	±0,125 cm
1.10E+00	±0,016 s	2.27E+01	±0,125 cm
1.13E+00	±0,016 s	2.74E+01	±0,125 cm
1.17E+00	±0,016 s	3.36E+01	±0,125 cm
1.20E+00	±0,016 s	4.21E+01	±0,125 cm
1.23E+00	±0,016 s	5.13E+01	±0,125 cm

Figura 54: Tabla de datos del tercer sistema de referencia a 9 grados

Video 4 Parte 3			
t[s]	Incert	y[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-3.89E+00	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-3.89E+00	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-3.83E+00	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-3.72E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-3.56E+00	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-3.48E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-3.40E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-3.34E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-3.03E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-2.94E+00	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-2.81E+00	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-2.50E+00	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	-2.37E+00	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	-2.02E+00	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	-1.73E+00	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	-1.40E+00	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	-1.03E+00	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	-3.27E-01	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	4.76E-01	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	7.74E-01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	1.58E+00	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	2.59E+00	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	3.30E+00	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	4.52E+00	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	5.45E+00	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	6.70E+00	±0,125 cm
8.67E-01	±0,016 s	8.15E+00	±0,125 cm
9.00E-01	±0,016 s	1.07E+01	±0,125 cm
9.33E-01	±0,016 s	1.38E+01	±0,125 cm
9.67E-01	±0,016 s	1.80E+01	±0,125 cm
1.00E+00	±0,016 s	2.30E+01	±0,125 cm
1.03E+00	±0,016 s	3.07E+01	±0,125 cm
1.07E+00	±0,016 s	4.25E+01	±0,125 cm

Figura 55: Tabla de datos del tercer sistema de referencia a 12 grados

Video 5 Parte 3			
t[s]	Incert	y[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	1.45E+00	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	1.65E+00	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	1.80E+00	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	1.82E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	2.24E+00	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	2.34E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	2.63E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	2.96E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	3.37E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	3.72E+00	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	4.09E+00	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	4.74E+00	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	5.33E+00	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	6.15E+00	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	6.97E+00	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	7.87E+00	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	9.63E+00	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	1.10E+01	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	1.29E+01	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	1.56E+01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	1.88E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	2.37E+01	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	3.07E+01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	4.41E+01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	5.37E+01	±0,125 cm

Figura 56: Tabla de datos del tercer sistema de referencia a 15 grados

Video 6 Parte 3			
t[s]	Incert	y[cm]	Incert
0.00E+00	±0,016 s	-1.55E+00	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-1.55E+00	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-1.55E+00	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-1.54E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-9.73E-01	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-6.08E-01	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-4.86E-01	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-3.04E-01	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	0.00E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	2.74E-01	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	6.08E-01	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	9.12E-01	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	1.34E+00	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	1.64E+00	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	2.07E+00	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	3.13E+00	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	3.95E+00	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	5.20E+00	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	6.57E+00	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	8.05E+00	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	1.02E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	1.33E+01	±0,125 cm
7.33E-01	±0,016 s	1.78E+01	±0,125 cm
7.67E-01	±0,016 s	2.42E+01	±0,125 cm
8.00E-01	±0,016 s	3.55E+01	±0,125 cm
8.33E-01	±0,016 s	5.48E+01	±0,125 cm

Figura 57: Tabla de datos del tercer sistema de referencia a 18 grados

Video 7 Parte 3			
t[s]	Incert.	y[cm]	Incert.
0.00E+00	±0,016 s	-2.93E+00	±0,125 cm
3.33E-02	±0,016 s	-2.92E+00	±0,125 cm
6.67E-02	±0,016 s	-2.90E+00	±0,125 cm
1.00E-01	±0,016 s	-2.85E+00	±0,125 cm
1.33E-01	±0,016 s	-2.75E+00	±0,125 cm
1.67E-01	±0,016 s	-2.56E+00	±0,125 cm
2.00E-01	±0,016 s	-2.29E+00	±0,125 cm
2.33E-01	±0,016 s	-1.99E+00	±0,125 cm
2.67E-01	±0,016 s	-1.60E+00	±0,125 cm
3.00E-01	±0,016 s	-1.23E+00	±0,125 cm
3.33E-01	±0,016 s	-6.66E-01	±0,125 cm
3.67E-01	±0,016 s	-1.29E-01	±0,125 cm
4.00E-01	±0,016 s	7.94E-01	±0,125 cm
4.33E-01	±0,016 s	1.51E+00	±0,125 cm
4.67E-01	±0,016 s	3.20E+00	±0,125 cm
5.00E-01	±0,016 s	4.38E+00	±0,125 cm
5.33E-01	±0,016 s	6.27E+00	±0,125 cm
5.67E-01	±0,016 s	8.40E+00	±0,125 cm
6.00E-01	±0,016 s	1.23E+01	±0,125 cm
6.33E-01	±0,016 s	1.76E+01	±0,125 cm
6.67E-01	±0,016 s	2.67E+01	±0,125 cm
7.00E-01	±0,016 s	4.54E+01	±0,125 cm

Figura 58: Tabla de datos del tercer sistema de referencia a 21 grados