

Guía para la presentación del proyecto final de Control y Sistemas

Dr. Ing. Rodrigo Gonzalez
rodrigo.gonzalez@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Control y Sistemas, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de Cuyo,
Mendoza, Argentina

Junio de 2021, versión v006

Resumen

El presente documento presenta los contenidos mínimos que debe tener el proyecto final de la cátedra de Control y Sistemas de la Universidad Nacional de Cuyo. Además, se aclara el estilo de redacción que debe tener el informe del proyecto final y se facilitan algunos recursos para la edición de documentos en \LaTeX .

1. Introducción

El objetivo de este documento es explicar los contenidos esenciales que debe tener el proyecto final para aprobar la materia de Control y Sistemas, en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. Por otra parte, se den algunas pautas para la elaboración del informe del proyecto final. Se introduce al alumno en la confección de un reporte técnico y las partes que lo componen. Finalmente, se pretende dar algunos lineamientos generales para la redacción de documentos usando herramientas de edición basadas en \LaTeX .

2. Proyecto final

Para aprobar la materia del Control y Sistemas el alumno debe presentar un proyecto a nivel simulación, por lo que no es necesario en principio que el alumno cree un prototipo físico. El proyecto podrá ser construido y simulado con diferentes lenguajes de programación, típicamente con MatLab (MatLab, Simulink, SimScape) o Python.

El proyecto final debe tener tres componentes que son esenciales. Estas son, procesamiento de señales, modelo de la planta bajo estudio y controlador propuesto.

2.1. Procesamiento de señales

Un sistema mecatrónico cuenta con señales de salida, las cuales son capturadas a través del uso de sensores. Dichos sensores distan de ser perfectos, por lo que siempre introducen ruido a la señal física que se trata de medir. Ejemplos de estos sensores son giróscopos, acelerómetros, encoders, sensores ultrasónicos, entre otros.

Entonces, el proyecto propuesto debe:

1. Simular las imperfecciones de los sensores de salida al agregar ruido a las señales que se obtienen a la salida del modelo.
2. La o las salidas del sistema deben ser ruidosas. El nivel de ruido debe estar en función de la hoja de datos de un sensor real.

2.2. Modelo de la planta

A continuación, se exponen las características básicas que debe tener el modelo de la planta:

1. Se deben presentar las ecuaciones que representan el modelo matemático de la planta elegida. En caso de haber desarrollado el modelo en SimScape [1], se debe describir detalladamente el proceso de diseño.
2. Se debe precisar si el modelo es lineal o no lineal, y si ha sido necesario linealizarlo para su control.
3. Es importante discutir al final de esta sección cuál es el alcance y las limitaciones del modelo propuesto.

2.3. Controlador

El controlador debe describirse con al menos las siguientes características:

1. En la gran mayoría de las aplicaciones reales el controlador es digital. Por tanto, se debe modelar un controlador discreto (PID, control en espacio de estados, etc.)
2. Si el controlador es en espacio de estados, debe agregar un observador al sistema.
3. Se deben especificar cuáles son los objetivos del controlador. Por ejemplo, proveer estabilidad, una respuesta rápida o una respuesta subamortiguada, entre otros posibles objetivos.
4. Se debe hacer un análisis de observabilidad.
5. Se debe hacer un análisis de controlabilidad.
6. Es necesario incluir un exhaustivo análisis de perturbaciones al sistema completo, el cual incluye el modelo de planta más el controlador.

3. Redacción de un reporte técnico

En la presente sección se tratará de mostrar cómo se debe redactar un reporte técnico. El mismo debe contar con diferentes secciones, algunas obligatorias y otras opcionales. Generalmente, las primeras deben estar numeradas y las segundas, no.

3.1. Sección de un reporte técnico

3.1.1. Secciones obligatorias

A continuación se detallan las secciones obligatorias.

1. **Título**, debe ser conciso y describir brevemente el objeto de estudio del proyecto en no más de 200 caracteres.
2. **Resumen**, también conocida como *Abstract*. Su fin es el de captar la atención del lector para que lea el reporte completo. En no más de 250 palabras se debe introducir el objetivo del proyecto, justificar su desarrollo y comentar brevemente los resultados obtenidos.
3. **Introducción**. En esta sección se justifica la importancia del proyecto desarrollado. Se plantean los objetivos del proyecto, principal y secundarios. Opcionalmente se puede describir el estado del arte del tema, esto es, qué desarrollos existen en la literatura previa y qué enfoque novedoso propone el proyecto.
4. **Desarrollo**. Se describe la metodología utilizada para desarrollar el proyecto y las herramientas utilizadas. A su vez se puede dividir en subsecciones. En esta sección se detallan las ecuaciones del modelo de la planta y las que describen el controlador elegido. Además, se detalla el método elegido para procesar la señal ruidosa proveniente del sensor de salida de la planta.

5. **Resultados**, se exponen los experimentos llevados adelante. Se muestran tablas y gráficos con los valores obtenidos. Se debe dar una discusión respecto a si los resultados están dentro de los valores esperados. Se agrega al sistema una señal de perturbación y se evalúa su respuesta.
6. **Conclusiones**, expone un resumen conciso del proyecto desarrollado y de los resultados encontrados. Se discute si se cumplió con los objetivos propuestos. Adicionalmente, se puede comentar qué aspectos del proyecto se seguirán desarrollando a futuro.
7. **Referencias**, detalla las fuentes publicadas en la literatura existente que han sido citadas durante el texto, como artículos científicos, sitios web o filmas de clase. Las referencias deben seguir un estilo de referencias, el cual se trata en la sección 4.6. Esta sección no debe estar numerada.

3.1.2. Secciones optativas

Entre las secciones optativas se encuentran las siguientes.

1. **Bibliografía**, toda fuente de información utilizada como soporte del informe pero que no ha sido citada durante el texto. Puede incluir libros, sitios webs, videos en línea, etc.
2. **Agradecimientos**. Lista de personas o instituciones que han ayudado o contribuido financieramente al desarrollo del proyecto y/o del informe.
3. **Apéndices**. Material adicional que es importante agregar para dar un acabado entendimiento del reporte. Por ejemplo, código fuente, planos mecánicos o especificaciones de sensores.

4. Estilo del documento

El estilo propuesto para la redacción de informes técnicos está basado en el estilo de L^AT_EX plano, sin ningún tipo de agregados. Este es el estilo que se ha elegido para la redacción de este documento. Algunas generalidades:

1. Se debe evitar hablar en primera personal del plural o “nosotros”, ya que el informe es individual. Se debe usar voz pasiva o tercera persona del singular, por ejemplo, “Se realizaron las siguientes actividades” o “Las siguientes actividades fueron realizadas”.
2. Se debe evitar el subrayado de texto o usar negritas. Si se quiere destacar un párrafo, el mismo debe comenzar con frases como “Cabe destacar” o “Es importante mencionar”, entre otras.

En las siguientes secciones se detallan algunos aspectos de estilo que el reporte técnico debe respetar.

4.1. Información del autor

Bajo el título del documento debe constar la siguiente información del autor del documento:

1. Nombre completo.
2. Dirección de e-mail.
3. Afiliación (grupo de investigación, universidad, empresa).

4.2. Páginas

1. Todas las paginas del informe deben estar numeradas.
2. El ancho del margen de las páginas debe estar entre 2.5 cm y 3 cm.
3. Se debe utilizar un solo tipo de tipografía para todo el documento, con un tamaño de 11 o 12 puntos.
4. El reporte, en lo posible, no debe superar las 30 páginas.

4.3. Figuras

Las figuras deben tener las siguientes características.

1. Deben tener fondo blanco o claro, ya que si poseen color oscuro o negro el reporte no podrá ser impreso.
2. Deben tener grilla (*grid*).
3. Deben tener etiquetas en los ejes que especifiquen las unidades de las señales que se representan (segundos, metros, m/s^2 , muestras (*samples*), etc.).
4. Si se representan varias señales o trayectorias en un mismo gráfico, cada línea debe representarse con diferentes colores y/o tipos de línea (continúa, puntuada, entrecortada). Además, se debe agregar una leyenda al gráfico que especifique qué representa cada línea.
5. Las figuras deben estar numeradas en orden de aparición.
6. Deben tener un título al pie (*\caption*) que describa el contenido de la imagen.
7. El tamaño de las letras que son parte del gráfico deben tener un tamaño igual o levemente menor al tamaño de las letras del título al pie.
8. Cada figura debe tener una etiqueta (*\label*) para poder hacer referencia a la misma en el texto.
9. Es recomendable que las figuras tengan una resolución de al menos 300 dpi.
10. Si se toma una imagen de un libro, sitio web o trabajo científico, se debe agregar una referencia a dicha bibliografía en el título al pie de la figura.

La figura 1 es un ejemplo de cómo debe verse una gráfica.

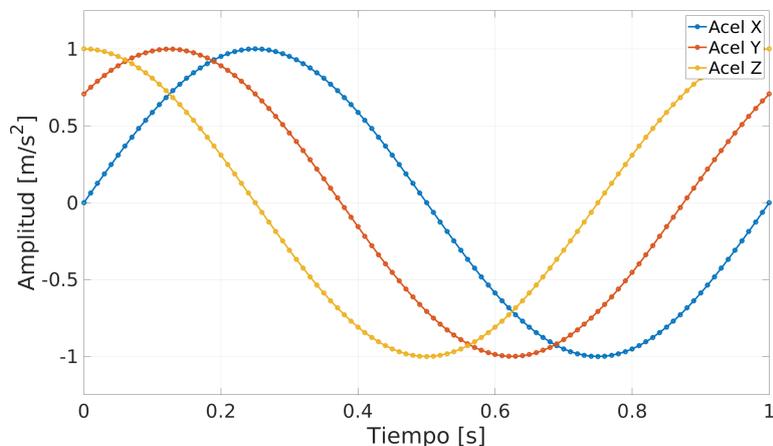


Figura 1: Aceleraciones (figura de ejemplo, cortesía de [2]).

En Apéndice se expone el código fuente en MATLAB con el que fue confeccionada la figura 1.

4.4. Tablas

Características que deben tener las tablas o cuadros en el reporte:

1. Deben estar numeradas en orden de aparición.
2. Deben tener un título (*\caption*) que describa el contenido de la tabla. Puede ubicarse arriba o al pie.
3. Cada tabla debe tener una etiqueta (*\label*) para poder hacer referencia a la misma durante el texto.

Tabla 1: Static bias (SB) and standard deviation (σ) from static analysis of the two IMUs under study.

	Static bias		σ	
	(m/s ²)	(rad/s)	(m/s ²)	(rad/s)
	MPU-6000	Ekinox	MPU-6000	Ekinox
Acc X	-1.347e-1	1.611e-4	1.294e-2	2.293e-3
Acc Y	7.202e-2	2.599e-2	1.324e-2	2.008e-3
Acc Z	9.735e+0	9.804e+0	2.012e-2	2.336e-3
Gyro X	-1.616e-3	-2.451e-4	7.026e-4	1.023e-2
Gyro Y	1.387e-3	1.230e-4	6.325e-4	9.574e-3
Gyro Z	2.037e-3	-2.216e-5	6.218e-4	9.423e-3

La tabla 1 expone un ejemplo de tabla. Se ha utilizado el paquete *booktabs* para obtener un acabado más profesional.

Existen herramientas en línea que facilitan el armado de tablas en L^AT_EX [3].

4.5. Ecuaciones

Características que deben tener las ecuaciones en un reporte técnico:

1. Deben estar numeradas en orden de aparición.
2. Deben ocupar una línea por ecuación.
3. Las ecuaciones que se representan durante el texto no deben numerarse, por ejemplo, $\sqrt{\frac{1}{2}}$ o $A = \begin{bmatrix} 1, 2 \\ 3, 4 \end{bmatrix}$. Estas ecuaciones pueden representarse en L^AT_EX entre dos símbolos pesos (\$ ecuacion \$).
4. Cada ecuación debe tener una etiqueta (`\label`) para poder hacer referencia a la misma durante el desarrollo del texto.
5. No se deben agregar ecuaciones como imágenes.

A continuación algunos ejemplos de ecuaciones. Las ecuaciones 1 se agrupan en un sólo número de ecuaciones, pero a su vez se pueden referenciar por separado como ecuación 1a y ecuación 1b.

$$C_{b(+)}^n = C_b^n (I + \delta\Psi), \quad (1a)$$

$$\delta\Psi = [\delta e \times]. \quad (1b)$$

$$\lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{\delta\Psi}{\delta t} = \Omega_{nb}^b. \quad (2)$$

$$C_b^{nT} C_{b(+)}^n = \overbrace{C_b^{nT} C_b^n}^I (I + \delta\Psi), \quad (3a)$$

$$\implies \delta\Psi = C_b^{nT} C_{b(+)}^n - I, \quad (3b)$$

$$= C_n^b C_{n(+)}^{bT} - I. \quad (3c)$$

$$\mathbf{n}_f = \frac{\text{VRW}}{60} \left(\frac{\text{m/s}^2}{\sqrt{\text{Hz}}} \right). \quad (4)$$

$$\mathbf{p}^e = \mathbf{p}_o^e + R^e \mathbf{p}, \quad (5a)$$

$$R^e = \begin{bmatrix} -\sin \gamma_o \cos \lambda_o & -\sin \lambda_o & -\cos \gamma_o \cos \lambda_o \\ -\sin \gamma_o \sin \lambda_o & \cos \lambda_o & -\cos \gamma_o \sin \lambda_o \\ \cos \gamma_o & 0 & -\sin \gamma_o \end{bmatrix}. \quad (5b)$$

$$H_{\{6 \times 21\}} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & I & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \hat{T}_p^r & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

4.6. Referencias

El sistema de referencias en \LaTeX es muy versátil pero a su vez tiene cierta particularidades.

Las referencias se guardan en texto plano en un archivo con extensión .bib en formato BibTeX. Existen distintos tipos de citas, según el tipo de documento al que se quiera hacer referencia (artículo en congreso, en revista, libros, manuales, etc.). En [4] se pueden ver todas las variantes que ofrece el formato BibTeX.

Por otra parte, existen varios formatos para incluir citas en un documento. Pueden usarse números entre corchetes, por ejemplo [15], o apellido del autor y año de publicación, por ejemplo (Pérez, 2011). En general, en los reportes técnicos se suele usar el primer formato, el mismo que se utiliza en este documento. Por otra parte, las referencias pueden numerarse por orden alfabético o por orden de aparición.

En general, una referencia debe tener la siguiente estructura:

[1] Nombre del autor. Título de la obra. Donde fue publicado (Conferencia, Revista, Editorial). Lugar de publicación, Fecha de publicación.

5. Anglismo y neologismos

El proyecto final de la cátedra puede ser escrito en español o en inglés. Si se elige escribirlo en español, se deben tomar algunos recaudos para que el documento no se transforme en una mala mezcla de ambos idiomas.

En general se debe evitar el *spanglish*, esto es, abusar del uso de palabras en inglés. No se deben usar palabras en inglés que poseen una traducción unívoca en español. Un ejemplo de esto puede ser la palabra en inglés *performance*, cuya traducción es desempeño o rendimiento. La Real Academia Española provee un listado de palabras técnicas en inglés y su traducción al español [5].

Por otro lado, a veces es conveniente usar palabras en inglés que tienen un uso muy difundido y cuya traducción no deja en claro de qué se está hablando. Ejemplos de esto pueden ser las palabras *hardware*, *software* o *router*.

Otro aspecto a tener en cuenta es el correcto uso de los gerundios en español, cuyo uso difiere del que se hace en el inglés [6].

6. Diseño de documentos en \LaTeX

Existe mucha documentación en Internet para aprender a diseñar un documento en \LaTeX . Un buen punto de partida puede ser [7].

Respecto a las herramientas para crear documentos en \LaTeX , existen varias opciones. Tal vez la más práctica es usar Overleaf.com [8]. Este sitio es gratuito y pone a disposición de sus usuarios una interfaz web para la creación de documentos en \LaTeX . Además, permite obtener el documento en formato pdf.

El presente documento puede ser tomado como un ejemplo de diseño en \LaTeX a través del link a Overleaf.com provisto en [2].

Bibliografía

- Wikibooks. Online L^AT_EX book. <https://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX/>.
Overleaf. Learn LaTeX in 30 minutes. URL.
Overleaf. Bibliography management in LaTeX. URL.

Referencias

- [1] The MathWorks, Inc. Simscape: model and simulate multidomain physical systems. <https://www.mathworks.com/products/simscape.html>, 2019.
- [2] Rodrigo Gonzalez. Manual de estilo para la redacción de reportes técnicos. Technical report, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina, Junio 2019. <https://www.overleaf.com/read/fkmgwbxprjcr>.
- [3] Tables Generator. Create latex tables online. <https://www.tablesgenerator.com/>, 2020.
- [4] Anónimo. Bibtex style examples, 2019. <https://www.verbosus.com/bibtex-style-examples.html>.
- [5] Real Academia Española. Tecnicismos, neologismos y extranjerismos en el español. 3. <http://revistas.rae.es/bilrae/article/view/218/525>, 2019.
- [6] Enrique Mandado-Pérez. El idioma español, el inglés y la tecnología. Catedrático de Tecnología Electrónica, Universidad de Vigo.
- [7] Wikibooks. *Online LaTeX book*. Wikibooks, 2019. <https://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX/>.
- [8] Overleaf. Online, collaborative latex editor. <https://www.overleaf.com/>, 2019.

Apéndice

A continuación, se expone el código fuente en MATLAB con el que se confeccionó la figura 1.

```
% Version: 002
% Date: 2020/03/02
% Author: Rodrigo Gonzalez <rodrigo.gonzalez@ingenieria.uncuyo.edu.ar>
% URL: https://github.com/rodralvez/control

clear
close all
clc
matlabrc

%% SIGNALS

t = 0:0.01:2; % vector time

signal_1 = sin(2* pi* 1 * t);

signal_2 = sin(2* pi* 1 * t + pi/4);

signal_3 = sin(2* pi* 1 * t + pi/2);

%% PLOT OPTIONS

font_tick = 30;
font_label = 35;
```

```

font_title = 45;

line_wd = 2.5;

%% FIGURE

figure;

h = plot(t, signal_1, 'o-', 'LineWidth', line_wd);
hold on
plot(t, signal_2, 'o-', 'LineWidth', line_wd);
plot(t, signal_3, 'o-', 'LineWidth', line_wd);

grid on

legend('Acel X', 'Acel Y', 'Acel Z')
% axis tight
axis([0 1 -1.25 1.25 ])

% tl = title('Aceleraciones');
xl = xlabel('Tiempo [s]');
yl = ylabel('Amplitud [m/s^2]');

set(h, 'Linewidth', line_wd);
set(gca, 'YTickMode', 'auto', 'FontSize', font_tick);

% set(tl, 'FontSize', font_title);
set(xl, 'FontSize', font_label);
set(yl, 'FontSize', font_label);

% Hacer full screen de la figura antes de guardarla
set(gcf, 'Units', 'Normalized', 'OuterPosition', [0 0 1 1]);
saveas(gcf, 'aceleraciones.png')

%% SAVE

% print (fig, 'acc_rmse', '-dpng', '-bestfit')

```