

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica
Programa de Licenciatura en Ingeniería Electrónica



**Método basado en aprendizaje reforzado
para el control automático de una
planta no lineal**

Informe de Trabajo Final de Graduación para optar por el título de
Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

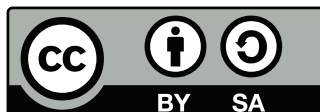
Oscar Andrés Rojas Fonseca

Borrador de 18 de febrero de 2024

El documento **Requisitos para la entrega de Trabajos Finales de Graduación** a las bibliotecas del TEC indica que usted debe incluir la licencia de Creative Commons en la página siguiente de la portada.

Asegúrese entonces de **elegir la licencia correcta**, y ajustar el texto abajo a su selección.

Es necesario que **descargue el ícono** correcto en formato vectorial, y lo coloque en el directorio **fig/**.



Este trabajo titulado *Método basado en aprendizaje reforzado para el control automático de una planta no lineal* por Oscar Andrés Rojas Fonseca, se encuentra bajo la Licencia Creative Commons **Atribución-ShareAlike 4.0 International**.

Para ver una copia de esta Licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Declaro que el presente documento de tesis ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos y resultados experimentales propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de tesis realizado y por el contenido del presente documento.

Oscar Andrés Rojas Fonseca

Cartago, 18 de febrero de 2024

Céd: 1-0123-0456

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica
Trabajo Final de Graduación
Acta de Aprobación

Defensa de Trabajo Final de Graduación
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
Grado Académico de Licenciatura

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del trabajo final de graduación denominado *Método basado en aprendizaje reforzado para el control automático de una planta no lineal*, realizado por el señor Oscar Andrés Rojas Fonseca y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal Evaluador

Dra. María Curie Pérez
Profesora Lectora

M.Sc. Pedro Pérez Pereira
Profesor Lector

Ing. Albert Einstein Sánchez
Profesor Asesor

Cartago, 18 de febrero de 2024

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica
Trabajo Final de Graduación
Tribunal Evaluador
Acta de Evaluación

Defensa del Trabajo Final de Graduación
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
Grado Académico de Licenciatura

Estudiante: **Oscar Andrés Rojas Fonseca** Carné: 2018102187

Nombre del proyecto: *Método basado en aprendizaje reforzado para el control automático de una planta no lineal*

Los miembros de este Tribunal hacen constar que este trabajo final de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica y es merecedor de la siguiente calificación:

Nota del Trabajo Final de Graduación: _____

Miembros del Tribunal Evaluador

Dra. María Curie Pérez
Profesora Lectora

M.Sc. Pedro Pérez Pereira
Profesor Lector

Ing. Albert Einstein Sánchez
Profesor Asesor

Cartago, 18 de febrero de 2024

Resumen

El resumen es la síntesis de lo que aparece en el resto del documento. Tiene que ser lo suficientemente conciso y claro para que alguien que lo lea sepa qué esperar del resto del trabajo, y se motive para leerla completamente. Usualmente resume lo más relevante de la introducción y contiene la conclusión más importante del trabajo.

Es usual agregar palabras clave, que son los temas principales tratados en el documento. El resumen queda fuera de la numeración del resto de secciones.

Evite utilizar referencias bibliográficas, tablas, o figuras en el resumen.

Palabras clave: palabras, clave, energía, cambio climático, RISC V

Abstract

Same content as the Spanish version, just in English. Check [this site](#) for some help with the translation. For instance, the following is the automatic translation from a previous version of the “Resumen”.

The abstract is the synthesis of what appears in the rest of the document. It has to be concise and clear enough so that someone reading it knows what to expect from the rest of the text, and is motivated to read it in full. It usually summarizes the most relevant parts of the introduction and contains the most important conclusion of the work.

It is usual to add keywords, which are the main topics covered in the document. The abstract is left out of the numbering of the rest of the sections.

Avoid using bibliographical references, tables, or figures in the abstract.

Keywords: word 1, word 2,

a mis queridos padres

Agradecimientos

El resultado de este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo de Thevenin, Norton, Einstein y mi querido amigo Ohm.

Usualmente se agradece aquí a la empresa o investigador que dio la oportunidad de realizar el trabajo final de graduación.

No debe confundir el agradecimiento con la dedicatoria. La dedicatoria es usualmente una sola línea, con la persona a quien se dedica el trabajo.

El agradecimiento es un texto más elaborado, de carácter personal, en donde se expresa la gratitud por la oportunidad, el apoyo brindado, la inspiración ofrecida, el acompañamiento moral, etc.

Oscar Andrés Rojas Fonseca

Cartago, 18 de febrero de 2024

Índice general

Índice de figuras	III
Índice de tablas	IV
Revisar	V
1. Introducción	1
1.1. Entorno del proyecto	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.2.1. Generalidades	2
1.2.2. Síntesis del problema	3
1.3. Enfoque de la solución	3
1.3.1. Solución 1	4
1.3.2. Solución 2	4
1.3.3. Solución 3	5
1.3.4. Selección de la solución	5
1.4. Objetivo General	7
1.4.1. Objetivos específicos	7
1.5. *****	7
1.6. El cambio climático y la electrónica	8
1.7. Antecedentes	8
1.8. La disipación de energía en el reactor 42	9
1.9. Sistema de almacenamiento energético	9
1.10. Objetivos y estructura del documento	10
2. Marco teórico	11
2.1. Péndulo amortiguado a hélice PAMH	11
2.2. Aprendizaje reforzado RL	12
2.3. *****	12
2.4. Descripción	12
2.5. Generalidades	13
2.5.1. Redacción	13
2.5.2. Ecuaciones	14
2.5.3. Figuras	15

2.5.4.	Cuadros o tablas	19
2.5.5.	Código	22
2.5.6.	Referencias bibliográficas	22
2.5.7.	Extensión	24
2.6.	Sobre esta plantilla L ^A T _E X	24
2.6.1.	Marcar asuntos pendientes	24
2.6.2.	Índices	25
3.	Solución propuesta	26
4.	Resultados y análisis	27
5.	Conclusiones	28
	Bibliografía	29
A.	Demostración del teorema de Nyquist	30

Índice de figuras

1.1. Planta de laboratorio PAMH TesisJorge	4
1.2. Modelo de aprendizaje reforzado FiguraEstructAR	4
1.3. Diagrama de bloques del proceso simplificado de aprendizaje reforzado pro- fundo.	6
1.4. Diagrama de bloques.	9
2.1. Modelo simplificado del PAMH.	11
2.2. Resumen de categorización del RL DataScience	12
2.3. Ejemplo de figura con tikz	16
2.4. Ejemplo de imagen ltfig/psfrag	17
2.5. Ejemplo de imagen gnuplot/pstricks	18
2.6. Ejemplo de figuras con subcaption	18
2.7. Ejemplo de figura enorme.	21
2.8. Ejemplo de código con listings.	23

Índice de tablas

1.1. Matriz de Pugh de las opciones de solución.	5
1.2. Conjunto de requisitos para la comunicación del controlador mediante DRL.	7
2.1. Comandos para cuadro o tabla	20

Revisar

MAL.....	14
BIEN	14
resultado de chk.....	25
explain.....	25
La caja simple	25
Por hacer:.....	25

Capítulo 1

Introducción

1.1. Entorno del proyecto

El control automático de sistemas es una rama de la ingeniería que se dedica al diseño y análisis de sistemas de control que de manera automática buscan satisfacer criterios de optimalidad preestablecidos. Estos sistemas se utilizan en aplicaciones que abarcan desde el control de procesos industriales hasta el control de sistemas de navegación en vehículos autónomos, donde para lograr un control automático efectivo, se emplean técnicas y algoritmos, como el control proporcional-integral-derivativo (PID), el control adaptativo, el control moderno y otros [ControlModerno](#). La implementación de estos sistemas requiere del uso de hardware y software especializados, así como del conocimiento en áreas de la electrónica, informática y actualmente, la aplicación de la inteligencia artificial (IA) [Kuo](#).

El campo de aplicación de la IA está en constante crecimiento, impulsado por la necesidad de automatizar procesos y mejorar la eficiencia en diversas industrias. La IA se utiliza en sistemas de control para incrementar la precisión y velocidad de respuesta, apoyando así la toma de decisiones en tiempo real [IntroSistemasControl SistemaAlmidon](#). Algunas de las aplicaciones más comunes incluyen la robótica, el control de procesos industriales, la domótica y la automatización de vehículos [MarketResearch](#). De acuerdo con un informe de Allied Market Research [MarketResearch](#), se espera que el mercado global de sistemas controlados mediante IA alcance los \$30,8 mil millones para el año 2026, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 33,7 % desde 2019 hasta 2026. Se espera que la creciente demanda de soluciones de automatización, la evolución de esta tecnología y la creciente inversión en investigación y desarrollo impulsen aún más el crecimiento de este mercado en los próximos años [MarketResearch](#).

El fuerte aumento en la introducción del uso de IA en diversos ámbitos del mercado mundial, obliga a las universidades, a mantenerse activas en la propuesta y mejora de aplicaciones para la IA y su correspondiente divulgación. Esto se observa en la tendencia de investigaciones de las universidades líderes en tecnología a nivel mundial, como el Massachusetts Institute of Technology (MIT), la Universidad de Stanford, la Universi-

dad de Oxford, entre otras [UniversidadesIA](#). Los experimentos que se realizan incluyen el desarrollo de algoritmos de aprendizaje automático para analizar grandes conjuntos de datos y descubrir patrones y tendencias, la aplicación de técnicas para resolver problemas en campos tan diversos como la medicina, la ingeniería, las ciencias sociales, además de la investigación en el uso de estas herramientas para mejorar la eficacia de los sistemas educativos [MachineLearning](#). Estos proyectos no solo están ayudando a los estudiantes a adquirir habilidades valiosas y a estar mejor preparados para los desafíos del mundo laboral, sino que también están generando nuevas oportunidades de investigación y desarrollo en áreas clave. Algunos ejemplos son la utilización de redes neuronales para la predicción del rendimiento académico, detección de enfermedades, identificación de aves, reconocimiento de emociones, entre otros [MachineLearning](#).

Alineado con lo anterior, el SIPLab de la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica, busca desarrollar soluciones a problemas regionales y nacionales en el campo mencionado anteriormente, esto mediante proyectos de procesamiento de señales donde se integre el aprendizaje automático y sus aplicaciones, permitiendo que estudiantes y profesores incursionen en el tema de la inteligencia artificial y la apliquen en sus actividades académicas [SIPLab](#).

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Generalidades

En la actualidad, el incremento en la complejidad de las plantas de control y su variedad de componentes dificulta el diseño del controlador y su optimización. Una solución prometedora para este problema es la aplicación de técnicas de aprendizaje automático, específicamente el aprendizaje reforzado (RL), el cual permite que un sistema aprenda de su experiencia y adapte su comportamiento para lograr una tarea específica, esto gracias a un diseño eficiente en la toma de muestras de información, su interpretación y modelado respectivo. Este RL presenta una variedad considerable de métodos que posibilitan su clasificación en distintas categorías, siendo las principales el aprendizaje reforzado basado en un modelo y el aprendizaje reforzado sin modelo [AprendRefor DataScience](#).

El RL como tal requiere tener un panorama claro del objetivo a cumplir para la correcta elección de métodos de aprendizaje congruentes y así, lograr optimizar el comportamiento de un agente en el entorno, donde los principales tipos de métodos de RL son: el RL basado en modelo (*Model-based RL*, MBRL), RL sin modelo (*Model-free RL*, MFRL) y el RL profundo (*Deep RL*). El MBRL usa un modelo del entorno mediante el cual se aplican iteraciones de políticas o valores para el proceso, lo cual representa un enfoque más dirigido a la prueba y error en el entrenamiento del modelo con programación dinámica. El MFRL efectúa una relación más directa con el ambiente a controlar, únicamente basándose en experiencias obtenidas por contextualización como el caso de la aplicación de la función Q con el Q -learning o SARSA. El Deep RL combina los métodos anteriores con redes

neuronales profundas, lo que le permite representar y procesar datos más complejos (alta dimensión) y mejorar el rendimiento del agente sin necesidad de extraer características manualmente del entorno [DataScience](#)

En términos generales, para realizar un diseño de un controlador con aprendizaje reforzado es necesario el conocimiento en ingeniería en electrónica, en particular el diseño y construcción de sistemas electrónicos, teoría de sistemas, sistemas digitales, sensores y actuadores, de manera que se pueda garantizar la implementación eficiente, precisa y confiable que integre, además, técnicas del aprendizaje automático [Control BBVA](#) [VideoIA](#).

Como contexto para este proyecto, se parte del trabajo de Brenes Alfaro [TesisJorge](#), quien propuso un sistema basado en redes neuronales, para emular el comportamiento de una planta de laboratorio, específicamente el Péndulo Amortiguado a Hélice (PAMH), comúnmente utilizado en el Laboratorio de Control Automático de la Escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR. Así, se cuenta con una red neuronal que se comporta de manera similar a la versión física de la planta, considerando perturbaciones y otros factores que definen el comportamiento de la planta real [PAMHinfo](#), y que permite entonces ser usada en enfoques libres de modelo para el diseño de controladores, usando técnicas de aprendizaje reforzado, sin arriesgar la integridad de la planta real, y permitiendo su uso en tiempo de simulación acelerado.

En este punto, se cuenta con un modelo del comportamiento de la planta de laboratorio PAMH. Sin embargo, no se ha propuesto aun ningún método de control basado en aprendizaje reforzado [TesisJorge](#), donde los métodos más comunes son basados en modelos y sin modelo. El primero presenta iteraciones con políticas o valores programados dinámicamente, mientras que el segundo se basa en cálculos de optimización con gradiente o libres de él. Además, se denomina el apartado de aprendizaje reforzado profundo (*Deep RL*) como una combinación de los métodos mencionados [DataScience](#).

De esta manera, la problemática planteada desde el punto de vista ingenieril apunta a una premisa enfocada al aprendizaje automático aplicado mediante el RL para el control automático.

1.2.2. Síntesis del problema

Se carece de un sistema de control automático, que por medio de técnicas de aprendizaje reforzado, permita manipular el comportamiento de una planta de control no lineal.

1.3. Enfoque de la solución

Ahora que se conoce la problemática y el entorno de este proyecto que persigue aplicar el aprendizaje automático al control de una planta no lineal, es necesario plantear algunas opciones que permitan resolver dicho problema, las cuales se ven direccionadas a los

métodos y algoritmos de aprendizaje existentes.

Así, se proponen tres alternativas que permiten el control de la planta PAMH (Figura 1.1) con diferentes frentes de operación de aprendizaje reforzado. Este tipo de aprendizaje en general mantiene una estructura como la mostrada en la Figura 1.2.

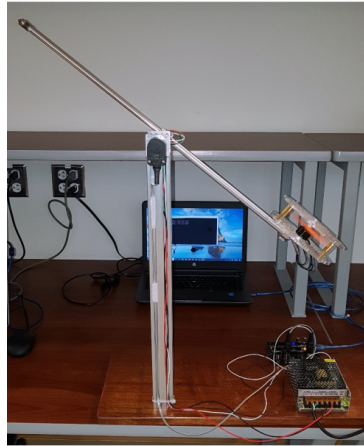


Figura 1.1: Planta de laboratorio PAMH [TesisJorge](#).



Figura 1.2: Modelo de aprendizaje reforzado [FiguraEstructAR](#).

Se realizó la respectiva valoración con una matriz de Pugh que expusiera los puntos a considerar para la elección de la alternativa.

1.3.1. Solución 1

Una red neuronal recurrente (*Recurrent Neural Network*, RNN) presenta su mejor desempeño en el reconocimiento de la voz, donde las secuencias de datos son considerablemente grandes para obtener un entrenamiento eficiente de un modelo, ya que este recorre la trayectoria de los datos en el tiempo, donde cada punto representa un grado de optimización del modelo [DataScience](#).

1.3.2. Solución 2

Los métodos de aprendizaje reforzado profundo (*Deep Reinforcement Learning*, DRL) presentan un aumento de la demanda y desarrollo en el área de control, de manera que

permiten realizar cálculos complejos y representarlos de manera eficiente en espacios de estados de dimensiones altas, logrando un muy buen desempeño en tareas como el reconocimiento de imágenes [DataScience](#).

1.3.3. Solución 3

Métodos clásicos de aprendizaje reforzado como los cálculos basados en el gradiente o las iteraciones de políticas o valores pueden llegar a representar un camino claro para lograr comportamientos deseados en aplicaciones de control, donde se encuentran diferentes algoritmos que permiten optimizar el entrenamiento de los modelos al aplicar fórmulas específicas para cada método y comportamiento deseado [DataScience](#).

1.3.4. Selección de la solución

Como se observa, cada alternativa corresponde a un modelo de trabajo al aplicar el aprendizaje automático en el control de una planta de laboratorio PAMH, de manera que se considerarán aspectos en los que se evidencia la elección de la solución 1.3.2 como la más adecuada para el trabajo en cuestión, esto mediante la valoración en la matriz de Pugh del cuadro 1.1.

Tabla 1.1: Matriz de Pugh de las opciones de solución.

Criterios	Peso	Alternativas		
		Solución 1	Solución 2	Solución 3
Fiabilidad de control del PAMH	4,5	0	+1	+1
Costo económico	4	0	+1	-1
Tiempo de desarrollo	3,5	0	+1	-1
Código existente	3	+1	+1	+1
Optimización	2,5	-1	+1	0
Tiempo de entrenamiento	2	-1	+1	0
Datos de entrenamiento	1,5	0	0	+1
Innovación	1	+1	+1	+1

Suma general	-0.5	20.5	2.5
Ranking	3.º	1.º	2.º

Con base en la matriz de Pugh desarrollada en el cuadro 1.1, se seleccionaron ocho variables que permitieron puntuar los criterios para cada posible solución.

En primera, se cuenta con la fiabilidad del control del PAMH, eso debido a que algunos métodos no encajan muy bien con el enfoque del proyecto, por lo que es necesario reaccionar en primera instancia con los objetivos que suelen sumarse a cada solución, donde la solución 1 no suele relacionarse con el control de un sistema en específico [DataScience](#).

El costo económico va en función del tiempo de desarrollo, compuesto del entrenamiento y optimización del modelo en cuestión, por lo que el costo computacional y presencial a largos periodos de tiempo es significativo, todo esto frente al tiempo limitado disponible para la elaboración del trabajo final de graduación.

Cada método presenta características complejas respecto a la implementación de los modelos de aprendizaje automático actuales, por lo que es de vital importancia disponer de referencias bibliográficas que permitan el acceso a códigos de prueba y así, realizar las modificaciones pertinentes, de manera que el constante desarrollo de métodos de aprendizaje automático cumple con este punto.

Dada la teoría y las características de cada solución presentada, la optimización de cada método equivale a diferentes grados de complejidad, donde la solución 1 requiere ajustes adicionales de la estructura para lograrlo, mientras que el caso de los métodos clásicos de RL y DRL permiten un ajuste más cercano a la experiencia y recompensa, en este caso resaltando la solución 2 por su enfoque directo al control de comportamientos [DataScience](#).

Respecto al tiempo de entrenamiento, la estructura secuencial de las RNN castiga especialmente este punto, además de la cantidad de datos de entrenamiento, mientras que el RL mejora este ámbito al aprovechar los recursos computacionales, especialmente el caso del DRL. Es así que los métodos clásicos de RL requieren menor cantidad de datos de entrenamiento pero mayor tiempo de iteración para optimizar, superado fácilmente por el DRL [DataScience](#).

Por último, al tratarse de un área de estudio en auge, constantemente se publican nuevos avances y métodos para cada tipo de modelo de aprendizaje automático, de manera que a nivel general cada solución significa innovación en sus estructuras.

Así y en suma, la solución con valor aceptable se trata de la número 2, donde el caso a utilizar se trata del aprendizaje reforzado profundo (DRL), por sus cualidades más enfocadas al problema en cuestión del proyecto.

En la Figura 1.3 se muestra el diagrama de bloques de la solución propuesta, lo cual permite plantear un primer enfoque de la metodología a desarrollar.

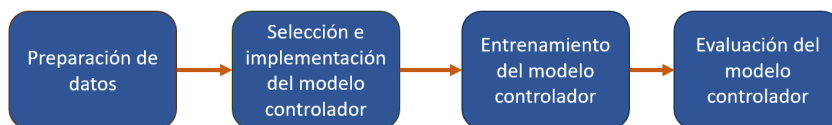


Figura 1.3: Diagrama de bloques del proceso simplificado de aprendizaje reforzado profundo.

Bajo dicha modalidad de trabajo se espera el cumplimiento de algunos requisitos necesarios para un correcto entrenamiento y validación del modelo a elaborar, los cuales se muestran en el cuadro 1.2

Tabla 1.2: Conjunto de requisitos para la comunicación del controlador mediante DRL.

Número	Requisito
1	Sistema de captura lee el estado y aplica la acción en tiempo continuo.
2	Sistema de captura de datos capaz de usarse con planta real y planta simulada.
3	Sistema de captura puede acoplarse al controlador con señal de entrada y salida.

1.4. Objetivo General

Diseñar un sistema de aprendizaje automático para el control del ángulo de una planta no lineal PAMH.

Indicador: Sistema capaz de alcanzar un error angular inferior al 10 % frente a un estímulo constante.

1.4.1. Objetivos específicos

1. Seleccionar un método de aprendizaje reforzado apto para el control no lineal.

Indicador: Métrica de matriz de Pugh sobre métodos preseleccionados de aprendizaje reforzado.

2. Diseñar la estrategia de captura de datos necesarios para el entrenamiento del modelo de aprendizaje reforzado que controle el modelo imitador del prototipo de laboratorio.

Indicador: Cumplimiento de los requisitos tabulados en el cuadro 2.

3. Implementar el modelo de aprendizaje reforzado para el control del ángulo y entrenamiento del PAMH.

Indicador: Métrica de recompensa acumulada durante el proceso de entrenamiento y sistema entrenado que logra controlar el ángulo de la planta PAMH emulada.

4. Evaluar el modelo de aprendizaje automático utilizado.

Indicador: Evaluación de al menos 5 configuraciones distintas de hiperparámetros del modelo seleccionado.

1.5. *****

En la *introducción* deben quedar completamente claros los siguientes aspectos, cuyo significado depende del tipo concreto de tesis:

- Contexto
- Antecedentes
- Problema concreto
- Esbozo de solución
- Objetivos y estructura

Una buena introducción debe lograr que el lector tenga interés de leer el resto del tesis.

Es recomendable dividir la tesis en secciones, nombradas cada una de acuerdo a su contenido. **Jamás** utilice los nombres de la guía como “*Problema existente e importancia de su solución*”, sino algo como “La deforestación en Costa Rica” o lo que se adecúe a su problema en particular.

Recuerde que en español solo la primera letra del título va en mayúscula (exceptuando nombres propios, por supuesto). Algunos recursos adicionales a esta guía los encuentra en [1].

1.6. El cambio climático y la electrónica

El contexto corresponde al entorno donde se desarrolla el proyecto de tesis, que puede ser el área general de aplicación, un dominio de problemas, etc.

De nuevo, no use un título genérico como “Contexto”, sino algo asociado directamente a su trabajo.

1.7. Antecedentes

Si su proyecto se circunscribe en otro proyecto mayor, en el que han participado otros estudiantes de grado y postgrados, y ya existen tesis o artículos publicados, en esta sección se hace una breve reseña de esos trabajos previos, con el objetivo de contextualizar en dónde calza concretamente el trabajo actual dentro de ese otro proyecto mayor. Por ejemplo, Fulano en [2] exploró si un diodo puede funcionar como fuente de energía infinita, hipótesis que no logró comprobar.

En proyectos relativamente aislados, no es necesaria esta sección.

Dependiendo de cada trabajo concreto, esta sección puede desplazarse a otro lugar dentro de la introducción donde tenga más sentido, pero usualmente se encuentra aquí justo antes de presentar el problema técnico concreto tratado en su proyecto.

1.8. La disipación de energía en el reactor 42

En esta sección usted debe exponer su problema concreto. Debe enlazar el contexto general, expuesto en las secciones anteriores, con el problema concreto que este trabajo resuelve.

Al final de esta sección, el problema concreto se sintetiza usualmente en una frase de planteamiento del problema de ingeniería o pregunta generadora de la investigación de ingeniería. Esta frase o pregunta debería ser una consecuencia a la que se llega después de realizar el desarrollo del contexto. Si el problema es de carácter científico, aquí puede plantearse la hipótesis de la investigación científica.

Del planteamiento del problema se deriva cuál es el objetivo del trabajo en particular, que a su vez debe conducir al lector de forma natural al esbozo de la solución del problema a tratar en este informe.

1.9. Sistema de almacenamiento energético

Después de las secciones anteriores ya ha guiado al lector hasta este punto en donde solo resta presentar una propuesta general de solución del problema técnico concreto.

Para aclarar la solución se hace uso de un diagrama de bloques (ver [figura 1.4](#)) o diagrama de flujo general, es decir, desde un nivel de abstracción muy alto, donde no sea necesario entrar en detalles técnicos, porque aun no han sido expuestos.

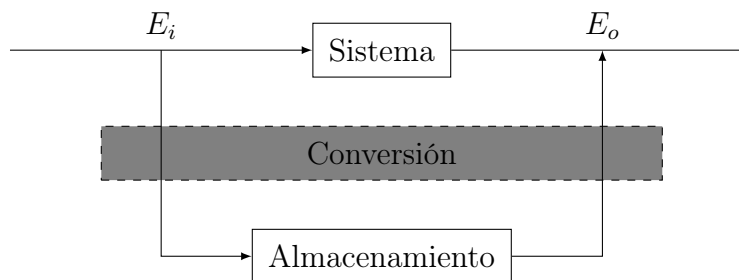


Figura 1.4: Diagrama de bloques del sistema propuesto de almacenamiento energético, como ejemplo de código TikZ insertado directamente en el texto (ver archivo `intro.tex`, línea 515).

Nótese que un diagrama de bloques es distinto a un diagrama de etapas. En general para este informe se prefiere el diagrama de bloques, pues el diagrama de etapas tiene una connotación de documentación de bitácora, que no es el objetivo de este informe. Aquí se debe explicar cómo reproducir los resultados a que finalmente se llegó, en vez de explicar el proceso circunstancial y particular que usted siguió para hacerlo; es decir, el proceso que usted siguió posiblemente requirió pruebas fallidas y otras exploraciones que no viene al caso explicar aquí (pero que usted sí documenta en su bitácora, que es otro documento aparte), sino que aquí lleva al lector por la ruta de éxito directamente.

Usualmente este diagrama y su breve explicación dictan cuál será la estructura del resto del documento, pues usted en el **capítulo 2** deberá explicar los fundamentos teóricos que cada bloque en esa solución requiere, y en el **capítulo 3** presentará una versión con mayor detalle de esa solución, en donde ya considera lo expuesto en el marco teórico.

1.10. Objetivos y estructura del documento

Esta plantilla LaTeX tiene como objetivo simplificar la construcción del documento de tesis, presentando ejemplo de figuras y tablas, así como otorgar una plataforma de compilación en GNU/Linux que simplifique la administración de todo el documento.

La última sección de la introducción usualmente sí tiene un título estandar que es “Objetivos y estructura del documento”, donde se presentan *en prosa* los objetivos general y específicos que ha tenido el proyecto de tesis, así como la estructura de la tesis (por ejemplo, “en el siguiente capítulo se esbozan los fundamentos teóricos necesarios para explicar en el **capítulo 3** la propuesta realizada. . .”

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Péndulo amortiguado a hélice PAMH

El péndulo amortiguado a hélice corresponde a una planta de laboratorio compuesta de un motor con hélice controlado por torque, una masa pequeña, péndulo y soportes de aluminio de baja fricción. Un modelo simplificado del sistema se muestra en la Figura 2.1 PAMH1.

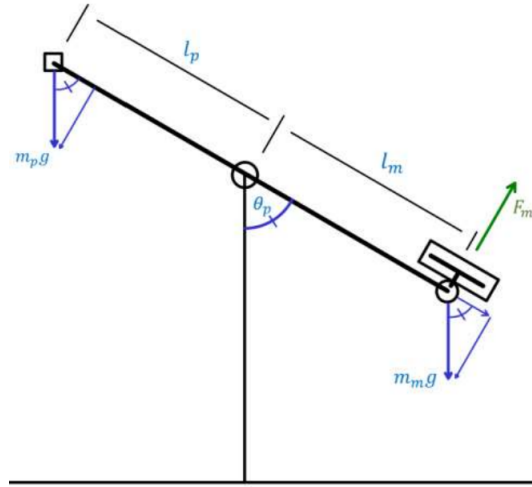


Figura 2.1: Modelo simplificado del PAMH.

El objetivo de dicho sistema es controlar la magnitud del ángulo θ_p , únicamente ejerciendo torque al accionar a una distancia l_m el motor con una fuerza F_m y movimiento de su masa m_m , mientras a una distancia de l_p del centro se encuentra una masa m_p que contrarresta el movimiento.

De manera que al analizar el sistema con sumatoria de torques se obtiene la constante de rosamiento central B (en caso de existir) junto con la inercia ejercida J_p . Por lo tanto, se definen las variables de estado siguientes y sus ecuaciones de estado mostradas en 2.1 ControlModerno.

$$\begin{aligned}
x_1 &= \theta_p & x_2 &= \dot{\theta}_p & y &= x_1 = \theta_p \\
\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\frac{B}{J_p}x_2 + (m_p l_p - m_m l_m) \frac{g}{J_p} \sin(x_1) + \frac{l_m}{J_p} F_m \end{cases}
\end{aligned} \tag{2.1}$$

2.2. Aprendizaje reforzado RL

Al estudiar el concepto de aprendizaje reforzado y los diferentes métodos y algoritmos que corresponden a este tipo de aprendizaje automático, se obtiene el resumen de la Figura 2.2, en donde se muestra que las principales secciones son el RL basado en modelo y el libre de modelo. De igual forma se cuenta con el aprendizaje reforzado profundo (DRL), una combinación y reestructuración de métodos de cada subdivisión [DataScience](#).

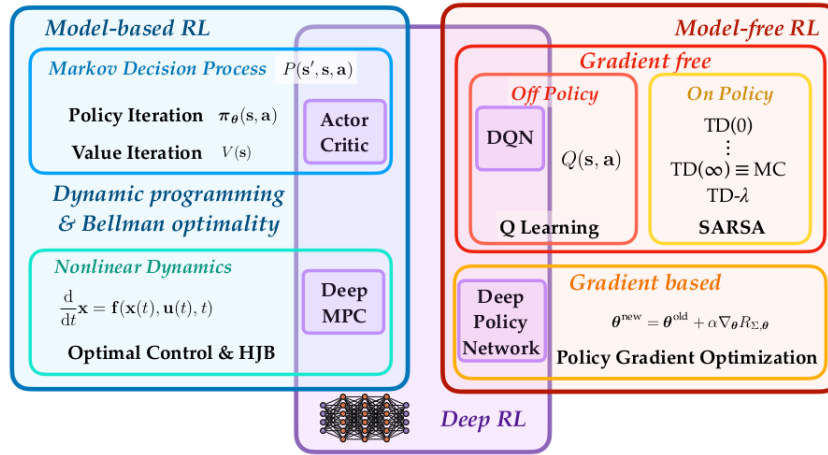


Figura 2.2: Resumen de categorización del RL [DataScience](#).

De igual manera, los avances en la investigación de diferentes métodos como las redes neuronales recurrentes (RNN), ejemplificado por Mamba [Mamba](#), ha mostrado la capacidad de optimización del desempeño de estas para llegar a competir con los modelos basados en *Transformer*.

2.3. *****

2.4. Descripción

Toda tesis hace referencia a trabajos previos en el área y trabajos afines que están directamente relacionados con lo planteado en el tesis.

Además, en el marco teórico debe aparecer la información absolutamente necesaria para comprender la solución, y por eso es recomendable escribir primero la solución (el siguiente capítulo), para ir anotando qué debe ser explicado en el marco teórico.

2.5. Generalidades

Se recomienda revisar las guías de publicación de la *IEEE* en http://www.ieee.org/publications_standards/publications/authors/authors_journals.html, donde puede encontrar cómo hacer referencias bibliográficas correctamente, cómo citar ecuaciones, cuadros y figuras, etc. Además, puede buscar en Google por la última versión del “Biblatex Cheat Sheet” para el resumen de cómo construir correctamente cada referencia.

2.5.1. Redacción

La *redacción* en todo el documento debe seguir un estilo científico objetivo. Esto implica que se redacta de modo impersonal, sin utilizar primeras personas del singular o del plural, y se evita el uso de cualquier tipo de calificativo, sustituyéndolos siempre por datos concretos, vinculados a referencias bibliográficas o datos experimentales. Los comparativos también deben concretarse a hechos y datos, y nunca dejarse “en el aire”. Por la naturaleza de la tesis, el tiempo verbal es usualmente presente, no perdiendo nunca de vista que se está explicando “cómo hacer algo”, en vez de “qué se hizo”.

Las *frases* deben ser cortas, y debe evitarse que el lector tenga que saltar constantemente entre partes de la tesis, lo que implica una exposición lineal clara, donde lo que se necesita ya ha sido explicado antes. Deben evitarse redundancias y por tanto cada concepto se exponen en un único lugar.

Todo aspecto circunstancial es irrelevante para la tesis, es decir, si se ha desarrollado en el laboratorio *X*, o en el curso *Y*, con el profesor *Z*, o en la empresa *W*, el nombre de funciones o clases en su código, etc., es información irrelevante para reproducir el experimento, y por lo tanto sobra. Esa información puede incluirse en uno de los anexos.

Numeración del documento

La primera página de la tesis es la correspondiente a la introducción, así que ésta debe ser la página 1. Desde la introducción, hasta antes de la bibliografía, las unidades son “Capítulos”. La bibliografía y anexos no se consideran capítulos, así que ya no continúan con la misma numeración de los capítulos (la paginación sí continua). Los índices, notación, glosario, etc. se numeran con números romanos en versalitas (I, II, III, IV, V, VI...) y antes del índice (portada, resúmenes, agradecimientos, hoja de evaluadores, etc.) las páginas no llevan numeración.

Esta plantilla LaTeX ya se ocupa de todo lo anterior.

2.5.2. Ecuaciones

Para citar *ecuaciones* se utilizan siempre paréntesis redondos, y no es necesario emplear explícitamente la palabra “ecuación”. Por ejemplo “Introduciendo en (4.2) los resultados de (3.3) y (3.7) se obtiene ...”. Se usa la palabra “Ecuación” solo si la frase inicia con ello. Por ejemplo “La ecuación (2.2) permite calcular la corriente.”.

A diferencia de figura y cuadro, toda ecuación es parte del flujo de texto y no un objeto flotante, así que **no** pueden emplearse de la misma forma que las figuras o cuadros. Esto es, cuando se requiere introducir una ecuación, se pone directamente donde se necesita y por tanto no es necesario citarla.

Es **incorrecto** redactar de la siguiente forma:

↪ MAL

La operación del transistor sin tomar en cuenta el efecto Early está dada por (2.2), donde el parámetro κ está dado por (2.3).

$$I_{DS} = I_{n0} \frac{W}{L} e^{\kappa \frac{V_{GB}}{v_t}} \left[e^{-\frac{V_{SB}}{v_t}} - e^{-\frac{V_{DB}}{v_t}} \right] \quad (2.2)$$

$$\kappa = \frac{C_{ox}}{C_{ox} + C_{dep}} \quad (2.3)$$

Lo anterior es incorrecto porque obliga al lector a estar buscando ecuaciones, que pueden mostrarse directamente. La única referenciación de ecuaciones aceptable es hacia atrás.

La forma correcta de redactar lo anterior es:

✓ BIEN

La operación del transistor sin tomar en cuenta el efecto Early está dada por

$$I_{DS} = I_{n0} \frac{W}{L} e^{\kappa \frac{V_{GB}}{v_t}} \left[e^{-\frac{V_{SB}}{v_t}} - e^{-\frac{V_{DB}}{v_t}} \right] \quad (2.4)$$

donde el parámetro κ es

$$\kappa = \frac{C_{ox}}{C_{ox} + C_{dep}} \quad (2.5)$$

Esta plantilla define el comando `\equ{label}` que se encarga de escribir el número de ecuación entre paréntesis, y de que los paréntesis sean parte del hipervínculo (por ejemplo (2.4)). Usted puede por supuesto hacer las referencias directamente con (`\ref{label}`), pero eso solo pondrá el hipervínculo en el número (por ejemplo (2.5)).

Así el flujo del texto guía al lector por las ecuaciones sin mayor esfuerzo.

Es recomendable numerar *todas* las ecuaciones, de modo que en la revisión del documento, o en futuras referencias a su documento de tesis todas las ecuaciones puedan ser citadas sin requerir describir textualmente a cuál ecuación se está haciendo referencia.

Es preferible utilizar coma decimal en vez de punto decimal, debido a que es el estándar internacional. El Diccionario Panhispánico de Dudas aclara que en la actualidad se acepta

el punto como separador decimal, pero eso no quiere decir que sea preferible. Esta plantilla ya incorpora el uso del paquete de L^AT_EX `icomma`, que se encarga de realizar el espaciado correcto de la coma. Cuando utilice coma como signo de puntuación, deje un espacio posterior, para asegurarse de que `icomma` no lo tome como separador decimal.

$$h(x) = \|\text{rand}() - 0,5\|_2^2 \quad (2.6)$$

2.5.3. Figuras

Esta plantilla define los comandos `\figref`, `\lfigref`, `\Figref` y `\Lfigref`. Estos generan referencias a figuras, pero incluyendo el artículo “la”, y asegurándose de que la palabra “figura” quede dentro de la referencia, y además de que el número de figura nunca quede huérfano en la siguiente línea. El texto creado inicia con mayúscula, si la primera letra usada es mayúscula. Por ejemplo: `\figref{fig:figtemplate}` produce “**figura 2.3**”, donde `fig:figtemplate` es la etiqueta usada; o `\Lfigref{fig:figtemplate}` genera “La **figura 2.3**”. Nótese que cuando se usa `\ref{label}`, únicamente el número de la referencia queda dentro del hipervínculo.

Para asegurar la calidad de la presentación de las imágenes y gráficas, usted debe conocer el hecho de que para el almacenamiento de imágenes existen dos tipos de formato: las imágenes raster y las imágenes vectoriales.

Imágenes raster

Las imágenes raster son representadas por una rejilla de píxeles, en donde cada píxel tiene un valor que representa al nivel de gris o el color. La discretización espacial es ineludible, y la única forma de obtener buena calidad es empleando tamaños grandes de la imagen que conduzcan a resoluciones de al menos 300 puntos por pulgada en la impresión, lo que conlleva a archivos de documentos de varios megabytes. Dentro de los formatos para almacenar imágenes raster existen algunos con pérdida (como el JPEG) que producen en imágenes sintéticas, como diagramas, estructuras ruidosas que dan una apariencia de baja calidad a las figuras. Otros formatos (como PNG, BMP, TIFF o GIF) no tiene pérdidas de información, pero los algoritmos de compresión no pueden reducir el tamaño de las imágenes con los mismos factores de reducción que los formatos con pérdidas. Este tipo de formatos debe utilizarse únicamente para fotografías o capturas de escenas reales con cámaras digitales.

Imágenes vectoriales

Las imágenes vectoriales **deben** ser empleadas en todo tipo de diagrama. En ellas no se almacenan píxeles, sino las estructuras geométricas que componen la figura como círculos (representado por posición de su centro y su radio), rectángulos (representados por sus

esquinas), líneas, texto, etc. La mayoría de programas para elaborar este tipo de diagramas, como Inkscape, XFig, OpenOffice.org Draw, MS Visio, Adobe Illustrator, etc. proveen varios formatos vectoriales que pueden ser insertados tanto en LaTeX como en OpenOffice.org Writer (o MS Word). Los formatos más empleados son los llamados metafiles, que incluyen al WMF, EMF. En LaTeX se utiliza por lo general EPS o PDF. Recientemente se ha incrementado el soporte al formato SVG, pero la calidad de la conversión no es la mejor, y el tiempo de conversión suele ser excesivo.

No debe cometerse el error de generar una imagen vectorial a partir de una imagen raster, pues una vez realizada la discretización espacial no es posible reconstruir los elementos geométricos que componen la imagen. Por ello, no tiene ningún sentido generar un archivo EPS o WMF a partir de una imagen ya almacenada en BMP, JPG, o PNG, pues lo único que ocurrirá es que se inserta la figura raster tal cual en la imagen vectorial, sin implicar ninguna ganancia en la calidad.

Esta plantilla de LaTeX administra la generación de ciertas figuras por usted. Puede colocar en el directorio `fig/` archivos EPS, JPG, PNG, TIKZ, SVG, o GP (de GNUPlot) y el Makefile se encarga de hacer todas las conversiones necesarias y dejar las figuras en el directorio correspondiente en formato PDF. En las siguientes subsecciones se describen dos casos adicionales que resultan útiles para realizar figuras más complejas.

Figuras tikz

Esta plantilla compila archivos con código en Tikz para generar figuras. En realidad, lo único que hace el Makefile es compilar con `pdflatex` cualquier archivo `fig/*.tikz` y dejar el resultado en el directorio de figuras, aunque el concepto fue pensado particularmente para generar imágenes vectoriales utilizando las características de Tikz, biblioteca de LaTeX que es utilizada cada vez más por su enorme flexibilidad.

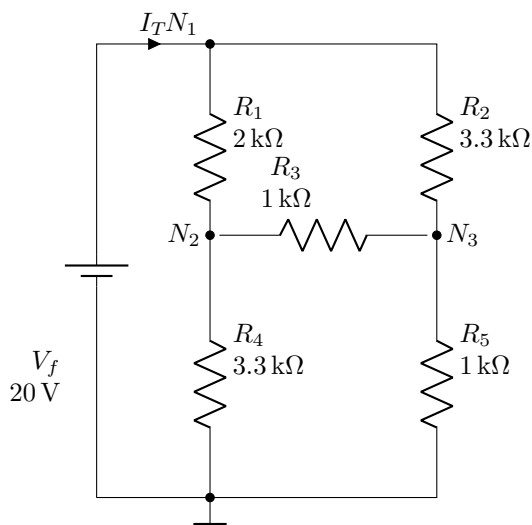


Figura 2.3: Ejemplo realizado con tikz. Usted encuentra la plantilla en el directorio de figuras bajo el nombre `fig/figtemplate.tikz`.

La [figura 2.3](#) muestra un ejemplo que se puede utilizar como plantilla para generar figuras `tikz`. La plantilla la encuentra en el directorio de figuras y se llama `figtemplate.tikz`. En Internet se encuentran cientos de figuras de ejemplo para realizar este tipo de figuras.

En el código fuente de la introducción `intro.tex` encuentra en el diagrama de bloques otro ejemplo de cómo incrustar la figura Tikz directamente en el lugar, aunque se advierte que eso no es recomendable porque aumenta el tiempo de compilación del documento. Considere esto particularmente si utiliza plataformas como [Overleaf](#), que tiene un tiempo de compilación limitado.

Figuras `ltxfig`/`psfrag`

Cuando en el subdirectorio `fig/` se encuentran dos archivos con el mismo nombre pero extensiones `ltxfig` y `psfrag`, por ejemplo `prueba.ltxfig` y `prueba.psfrag`, entonces el Makefile asume que usted desea crear una figura a partir del archivo `prueba.ltxfig`, creado con el programa `XFig`, sustituyendo los textos ahí presentes con texto formateado con LaTeX.

La [figura 2.4](#) ha sido creada con este esquema. Revise los archivos correspondientes en el directorio de figuras `fig/ltxfig_prototipo.*` para más detalles sobre su uso.

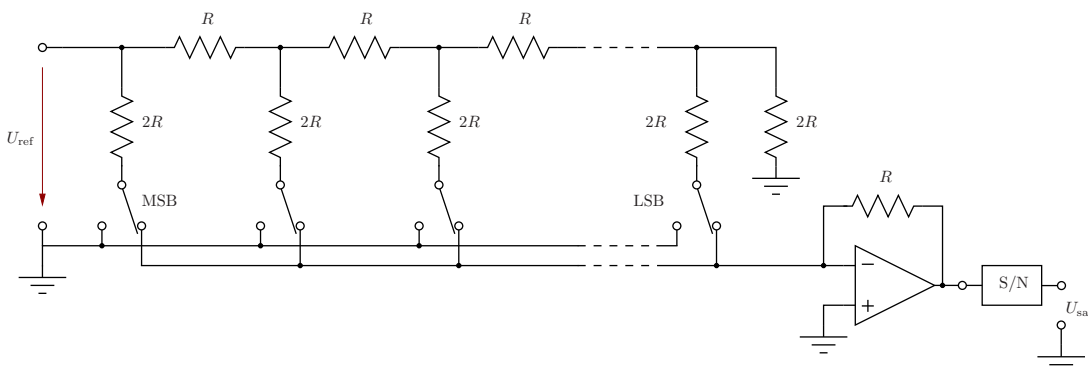


Figura 2.4: Ejemplo de imagen `ltxfig`/`psfrag`

Figuras `pstricks`

Los archivos con extensión `.pstricks` en el directorio `fig` se utilizan para generar cualquier tipo de imágenes según el código que se contenga. Es un concepto más general que el utilizado con el `ltxfig` de la sección anterior. La [figura 2.5](#) ha sido creada con este esquema. Puede revisar los archivos `prototipo_gnuplot*` como un ejemplo de su uso, en donde de un archivo `gnuplot` (`_.gp`) se genera un archivo `_.eps`, el cual es incluido en el archivo `.pstricks` sustituyendo cadenas de texto por código LaTeX.

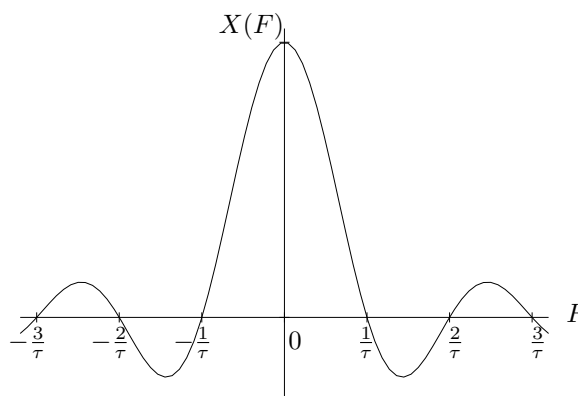


Figura 2.5: Ejemplo de imagen gnuplot/pstricks

Subfiguras

En la plantilla ya se incluye el paquete `subcaption`, que es el sucesor del paquete `subfig` que a su vez es el sucesor de `subfigure`. Los dos paquetes anteriores tienen muchos problemas con el paquete `hyperref` y por tanto es mejor evitarlos. La [figura 2.6](#) muestra un ejemplo con dos figuras, donde por ejemplo, la [figura 2.6a](#) es un circuito. La documentación del paquete `subcaption` presenta abundancia de casos con y sin leyendas en las subfiguras y cómo referenciarlas correctamente.

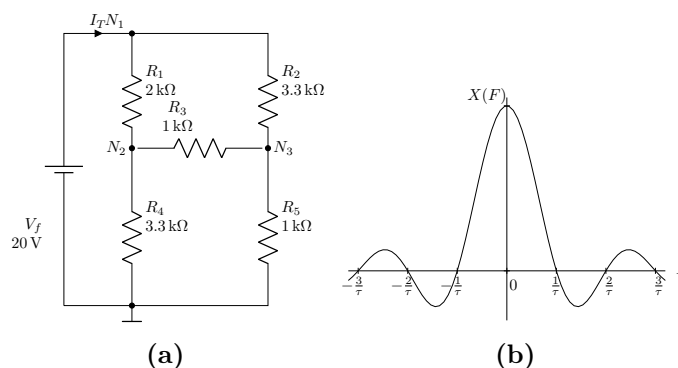


Figura 2.6: Este es un ejemplo de uso de subfiguras con subcaption. (a) Un circuito. (b) Una función.

Entradas en el índice de figuras

El índice de figuras debe servir para encontrar rápidamente dónde se encuentra cierta figura. El pie de la figura, indicado en \LaTeX con `\caption` puede ser extenso, en especial para indicar detalles de las figura. Lo indicado con `\caption` es la entrada que por defecto aparecerá en el índice de figuras. Sin embargo, en el índice la referencia a cada figura no debe superar la extensión de una línea y debe únicamente dar la idea del contenido de la figura, para que pueda ser encontrada rápidamente. Para lograr esto en \LaTeX se agrega un parámetro opcional con el texto del índice, de la siguiente forma:

`\caption[Texto en el índice]{Texto al pie de la figura}`

Esto funciona también con las tablas.

2.5.4. Cuadros o tablas

¿Se dice tabla o cuadro? Esta es una pregunta no tan simple de responder. \LaTeX , o mejor dicho el paquete `babel` para español, por defecto define a las leyendas (`\caption`) del entorno `table` como *cuadro*. Sin embargo, en Latinoamérica, en particular por influencia del inglés, se ha extendido la traducción de *table* como *tabla*.

Formalmente en español se debería diferenciar entre ambas: la tabla usualmente contiene datos que se referencian directamente, como las tablas de logaritmos, la tabla periódica de los elementos, las tablas de multiplicar, las tablas de transformadas, etc. Los resultados de un análisis experimental se sintetizan en lo que en español se denomina *cuadros*, y puesto que la mayoría de tesis e informes de proyecto lo que se usan son precisamente *cuadros*, entonces \LaTeX para español define por defecto ese término.

En esta plantilla está activo el uso de *tabla*, por ser esta la tradición en la Escuela de Ingeniería Electrónica, pero basta eliminar la opción `es-tabla` en el paquete `babel` en `macros.tex` para reactivar el uso por defecto de *cuadro*.

Si usted no tiene aún claro si desea usar *cuadro* o *tabla*, utilice los comandos listados en la [tabla 2.1](#), y así todo cambiará automáticamente de acuerdo a la opción que se especifique para `babel`. La tercera columna muestra la salida de los comandos en la actual compilación del documento. Usted puede cambiar la opción de `babel` en `macros.tex` y observar el cambio.

Observe que el comando `\tabref` se encarga de que la palabra *tabla* quede como parte del enlace, mientras que si usted usa directamente `\ref` entonces únicamente el número quedará enlazado.

Figuras enormes de una página en horizontal

En ocasiones, es necesario colocar una figura o tabla grande que no cabe en el formato vertical de página. Para esto, el entorno `sidewaysfigure` permite rotar el contenido, aunque esto deja la página en el archivo PDF generado en posición vertical, de modo que cuando se lea por medios electrónicos, será incómodo interpretarlo, a menos que activamente se rote todo el documento. Una mejor opción es entonces indicar directamente en el archivo PDF que se presente una página en particular de forma horizontal, como lo ilustra la [figura 2.7](#).

Tabla 2.1: Comandos definidos para cambiar cuadro o tabla según se indique al paquete babel.

Comando	Con <code>es-tabla</code>	Sin <code>es-tabla</code>	Actualmente
<code>\cuadro</code>	tabla	cuadro	tabla
<code>\Cuadro</code>	Tabla	Cuadro	Tabla
<code>\elcuadro</code>	la tabla	el cuadro	la tabla
<code>\Elcuadro</code>	La tabla	El cuadro	La tabla
<code>\loscuadros</code>	las tablas	los cuadros	las tablas
<code>\Loscuadros</code>	Las tablas	Los cuadros	Las tablas
<code>\tabla</code>	tabla	cuadro	tabla
<code>\Tabla</code>	Tabla	Cuadro	Tabla
<code>\latabla</code>	la tabla	el cuadro	la tabla
<code>\Latabla</code>	La tabla	El cuadro	La tabla
<code>\lastablas</code>	las tablas	los cuadros	las tablas
<code>\Lastablas</code>	Las tablas	Los cuadros	Las tablas
<code>\tabref{label}</code>	<code>tabla~\ref{label}</code>	<code>cuadro~\ref{label}</code>	tabla 2.1
<code>\Tabref{label}</code>	<code>Tabla~\ref{label}</code>	<code>Cuadro~\ref{label}</code>	Tabla 2.1
<code>\latabref{label}</code>	<code>la tabla~\ref{label}</code>	<code>el cuadro~\ref{label}</code>	la tabla 2.1
<code>\Latabref{label}</code>	<code>La tabla~\ref{label}</code>	<code>El cuadro~\ref{label}</code>	La tabla 2.1

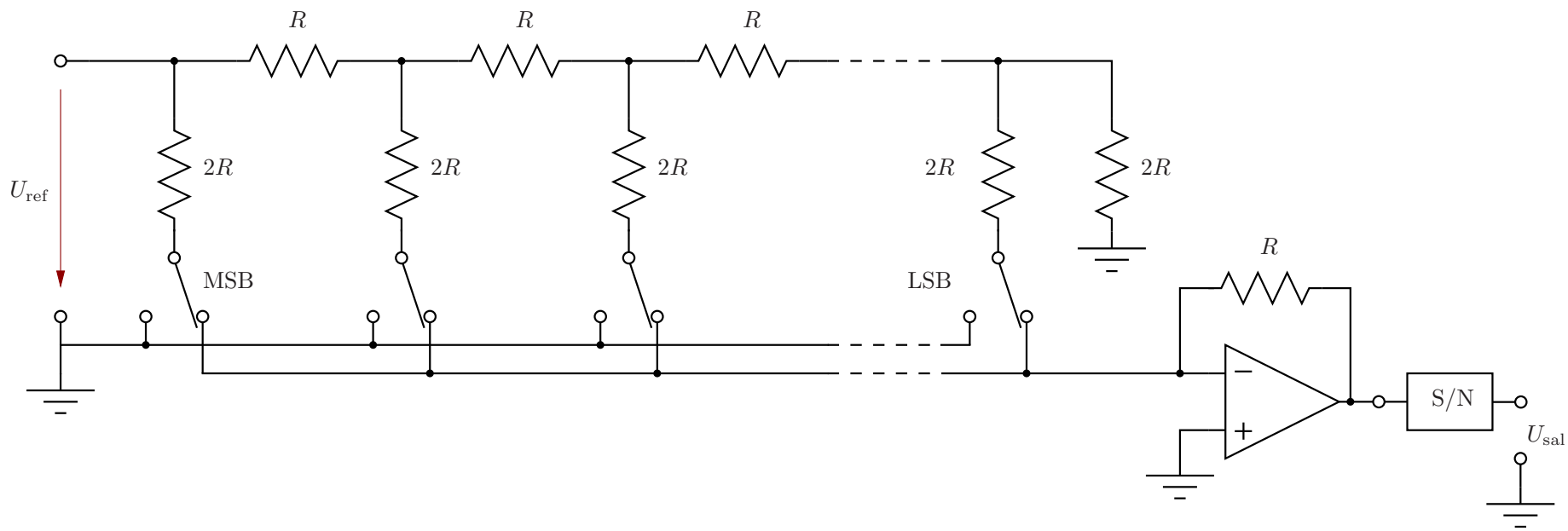


Figura 2.7: Ejemplo de figura enorme.

Para eso se ha definido en la plantilla un entorno sencillo denominado `rotatepage`. Se usa de la siguiente forma:

```
\afterpage{%
  \clearpage
  \begin{rotatepage}
    \begin{sidewaysfigure}
      \centering
      \includegraphics[width=\textheight]{ltxfig_prototipo}
      \caption{Ejemplo de figura enorme.}
    \end{sidewaysfigure}
  \end{rotatepage}
}
```

El comando `\afterpage` da la instrucción de ejecutar el código indicado justo después de terminar la página actual, en donde se ordena primero pasar la página y sacar todos los objetos flotantes que hayan quedado pendientes. Esto tendrá el efecto secundarios de que si en el resto de la página donde se coloca la inclusión de la figura hay otros objetos flotantes, estos se colocarían primero. Por ello, puede ser necesario que usted tenga que manipular esos objetos flotantes para que aparezcan en otros lugares.

Siguiendo con el código de ejemplo, el entorno `rotatepage` intenta colocar los comandos de PDF necesarios para rotar la página. Su implementación es muy sencilla y puede fallar. Puede revisar su implementación en el archivo `macros.tex`.

2.5.5. Código

Si usted necesita poner un ejemplo de código de descripción de hardware o de algún lenguaje de programación, evite usar “pantallazos” pues al ser imágenes raster tiene baja calidad.

Puede insertar al código como figuras. Si por la naturaleza del tema de su proyecto o tesis hay más de diez ejemplos de código, quizá deba buscar cómo agregar un nuevo tipo de objetos flotantes.

Se recomienda el uso del paquete `listings`. La plantilla define en el archivo `macros.tex` un entorno para verilog, como se ilustra en la [figura 2.8](#).

2.5.6. Referencias bibliográficas

Todo concepto o idea tomado de otros autores contar con la respectiva referencia. En redacción técnica de ingeniería rara vez se utiliza la cita textual, así que es necesario reformular las ideas y conceptos con palabras propias. En ingeniería electrónica se utilizan los formatos de referencia de la IEEE o la ACM, que son numéricos, encerrados entre

```

1      //-----
2      // Design Name : mux_using_case
3      // File Name    : mux_using_case.sv
4      // Function     : 2:1 Mux using Case
5      //-----
6      module mux_using_case(
7          input wire din_0      , // Mux first input
8          input wire din_1      , // Mux Second input
9          input wire sel        , // Select input
10         output reg [1:0] mux_out // Mux output (BUG IN HERE)
11     );
12     //-----Code Starts Here-----
13     always @ (*)
14     MUX : begin
15         case (sel)
16             1'b0 : mux_out = din_0;
17             1'b1 : mux_out = din_1;
18         endcase
19     end
20
21     endmodule //End Of Module mux

```

Figura 2.8: Ejemplo de uso de listings para insertar código Verilog, pero puede usarse para otros lenguajes.

paréntesis cuadrados (por ejemplo, “En [3] se propuso un nuevo algoritmo”, o “En [4] los autores proponen tomar las ventajas de los algoritmos presentados en [5-7] por medio del método de Newton [8] conocido en el área de optimización lineal.”). La referencia es parte de las frases, así que si la frase termina con la referencia para indicar la idea, ésta debe estar antes del punto final o demás signos de puntuación: “La capacidad de memoria también sigue una Ley similar a la de Moore [9]. Los siguientes son los aspectos a tomar en cuenta en el diseño del sistema [10]:”. Las referencias múltiples usan un solo comando `\cite{Sorrial2003,Shilov1973}` [11, 12].

Se recomienda utilizar BibLaTeX para indicar las referencias bibliográficas. Actualmente herramientas como Mendeley, Zotero u otras similares simplifican la administración de las referencias y pueden exportar al formato BibTeX.

Si usa estos formatos, recuerde en los autores con dos apellidos siempre usar

`author={apellidos, nombres and apellidos, nombres}`

o de lo contrario la generación de las referencias será incorrecta.

2.5.7. Extensión

Una tesis de licenciatura no debe sobrepasar las 120 páginas incluyendo apéndices y los formalismos desde portada hasta índices.

El cuerpo de la tesis (desde introducción hasta conclusiones) usualmente se extiende desde 45 páginas hasta no más de 80, dependiendo de la problemática tratada.

No es necesario reproducir contenidos de otras fuentes: agregue las referencias a dichas fuentes, y límitese a enunciar lo estrictamente necesario para comprender sus propuestas de solución.

Contenidos que se salen de la línea principal de la tesis se colocan en apéndices, a los que se hace breve referencia (ver apéndice A).

2.6. Sobre esta plantilla L^AT_EX

Esta plantilla L^AT_EX pretende simplificar varios pasos en la creación del documento de tesis. Toda la configuración, incluyendo su nombre, su número de carné, el nombre abreviado, el título del documento, la fecha de defensa, el nombre de su asesor y sus lectores, etc. se especifica en el archivo `config.tex`.

2.6.1. Marcar asuntos pendientes

La plantilla tiene dos “*modos*” de operación: normal y borrador (*draft*). En el archivo `config.tex`, en las líneas 12 y 13 usted encuentra el código

```
\setboolean{draftmode}{true}           % turn draft mode on
%\setboolean{draftmode}{false}          % turn draft mode off
```

Con el modo borrador, se activan ciertos comandos y funcionalidades útiles en el proceso de elaboración de la tesis, pero que deben ser desactivados al final, antes de entregar la tesis. Por ejemplo, se activa el pie de página que dice “*Borrador: fecha*”, y se activa el índice titulado “Revisar”. En dicho índice aparecen las páginas en donde se hayan utilizado alguno de los siguientes comandos:

- `\boxcomment{comentario}` Crea una caja en el margen de página con el comentario indicado.
- `\explain{comentario}` Crea una caja en el margen de página con el comentario indicado, con una flecha hacia la derecha para indicar qué en concreto debe ser revisado.
- `\chk{comentario}` Crea una caja en el margen con símbolo de “chequeado” y el comentario indicado.

- `\TODO{comentario}` Crea una caja grande de fondo sombreado con el comentario indicado.

En este párrafo se utilizan algunos de estos comandos para ilustrar su efecto. El `\chk` como puede observar tiene sentido usarlo para marcar que algo está casi listo. Por otro lado el comando `\explain` permite marcar algo que requiere ser revisado en redacción, valores, etc. El `\boxcomment` solo pone una marca al margen.

✓ resultado de chk

↪ explain

La caja simple

Por hacer:

Finalmente el comando `TODO` coloca esta caja gris.

Si usted desactiva el modo draft, desaparecen todas las marcas anteriores, y desaparece el índice “Revisar”. En éste índice aparecen todas las páginas en donde se utilizaron estos comandos con los respectivos comentarios, lo que permite encontrar rápidamente detalles que usted indicó que debe revisar.

2.6.2. Índices

Como índice se conoce la lista de términos claves con su respectiva página. Usualmente aparece al final del documento. La plantilla ofrece varios comandos para simplificar el uso estandar del comando de \LaTeX `\index{término}` que coloca al término indicado en el índice. Con `\nt[indice]{término}` (*new term*) usted indica la entrada principal del término, que aparece en el texto en el índice, es decir, en el índice aparece lo que indique en vez de “índice” y en el texto aparece lo que indique “término”; `\ot{término}` agrega una entrada secundaria al término.

Capítulo 3

Solución propuesta

Primero que todo, jamás utilice el título indicado arriba, sino algo relacionado con su solución: “Sistema de corrección de distorsión” o lo que competa a su tesis en particular.

Este capítulo puede separarse en varias secciones, dependiendo del problema concreto. Aquí los algoritmos o el diseño del sistema deben quedar lo suficientemente claros para que otra persona pueda re-implementar al sistema propuesto. Sin embargo, el enfoque no debe nunca concentrarse en los detalles de la implementación particular realizada, sino del diseño conceptual como tal.

Recuerdese que toda tabla y figura debe estar referenciada en el texto.

Capítulo 4

Resultados y análisis

En este capítulo se exponen los diseños experimentales realizados para comprobar el funcionamiento correcto del sistema. Por ejemplo, si se realiza algún sistema con reconocimiento de patrones, usualmente esta sección involucra las llamadas *matrices de confusión* donde se compactan las estadísticas de reconocimiento alcanzadas. En circuitos de hardware, experimentos para determinar variaciones contra ruido, etc. También pueden ilustrarse algunos resultados concretos como ejemplo del funcionamiento de los algoritmos. Puede mostrar por medio de experimentos ventajas, desventajas, desempeño de su algoritmo, o comparaciones con otros algoritmos.

Recuerde que debe minimizar los “saltos” que el lector deba hacer en su documento. Por tanto, usualmente el análisis se coloca junto a tablas y figuras presentadas, y debe tener un orden de tal modo que se observe cómo los objetivos específicos y el objetivo general del proyecto de tesis se han cumplido.

Capítulo 5

Conclusiones

Las conclusiones no son un resumen de lo realizado sino a lo que ha llevado el desarrollo de la tesis, no perdiendo de vista los objetivos planteados desde el principio y los resultados obtenidos. En otras palabras, qué se concluye o a qué se ha llegado después de realizado la tesis de maestría. Un error común es “concluir” aspectos que no se desarrollaron en la tesis, como observaciones o afirmaciones derivadas de la teoría directamente. Esto último debe evitarse.

Es fundamental en este capítulo hacer énfasis y puntualizar los aportes específicos del trabajo.

Es usual concluir con lo que queda por hacer, o sugerencias para mejorar los resultados.

Bibliografía

- [1] P. Alvarado. «Proyecto de graduación.» (sep. de 2021), dirección: <http://www.ie.tec.ac.cr/palvarado/PG> (visitado 09-11-2021).
- [2] J. Fulano Rodríguez, «Energía infinita con un diodo,» Tesis de Licenciatura, Escuela de Ingeniería Electrónica, Tecnológico de Costa Rica, jun. de 2021.
- [3] H. F. Davis, *Fourier series and orthogonal functions*. Dover Publications, Inc., 1963.
- [4] J. G. Proakis y D. G. Manolakis, *Tratamiento Digital de Señales*. Prentice Hall, 1998.
- [5] A. Oppenheim, A. Willsky y S. H. Nawab, *Señales y Sistemas*, 2da. Prentice Hall, 1998.
- [6] M. J. Roberts, *Señales y Sistemas. Análisis mediante métodos de transformada y MatLab*. McGraw Hill, 2005.
- [7] S. Haykin y B. van Veen, *Señales y sistemas*. Limusa Wiley, 2001.
- [8] C. S. Burrus, J. H. McClellan, A. V. Oppenheim, T. W. Parks, R. W. Schafer y H. W. Schuessler, *Ejercicios de Tratamiento de la Señal. Un enfoque práctico*. Prentice Hall, 1998.
- [9] J. W. Eaton, D. Bateman, S. Hauberg y R. Wehbring. «Octave.» (1998), dirección: <http://www.octave.org> (visitado 02-06-2023).
- [10] D. Lindner, *Introducción a las señales y los sistemas*. McGraw Hill, 2002.
- [11] E. Soria Olivas, M. Martínez Sober, J. V. Francés Villora y G. Camps Valls, *Tratamiento Digital de Señales. Problemas y ejercicios resueltos*. Madrid: Prentice Hall, 2003.
- [12] G. E. Shilov, *Elementary Real and Complex Analysis*. Dover Publications, Inc., 1973.

Apéndice A

Demostración del teorema de Nyquist

El título anterior es solo un ejemplo ilustrativo. Éste teorema no ameritaría un apéndice pues es parte normal del currículum de Electrónica, pero apéndices usualmente involucran aspectos de esta índole, que se salen de la línea de la tesis, pero que es conveniente incluir por completitud.

Los anexos contienen toda información adicional que se considere pertinente agregar, como manuales de usuario, demostraciones matemáticas que se salen de la línea principal de la tesis, pero que pueden considerarse parte de los resultados del trabajo.