

CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO DE UN TEXTO GUÍA DE TERMOFLUIDOS PARA LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

(Autor)

MICHAEL YULIAN GARCIA GELVEZ

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,
MECATRONICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, junio 16 del 2021**

CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO DE UN TEXTO GUÍA DE TERMOFLUIDOS PARA LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Autor: MICHAEL YULIAN GARCIA GELVEZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director: ELKIN GREGORIO FLOREZ SERRANO

Doctor en ingeniería mecánica, fluidos y aeronáutica
eflorez@unipamplona.edu.co

Codirector: JUAN CARLOS FLOREZ SERRANO

Doctor en ingeniería mecánica
jcserrano@unipamplona.edu.co

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,
MECATRONICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Pamplona, junio 16 del 2021**

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a ciertas personas a las que quiero y que sé estarán orgullosos de mí. Estas personas son mi padre Levis, Osiris mi madre, un gran compañero de trabajo y amigo, Yolmar, y finalmente a Edinson, que, aunque ya no estas en este mundo terrenal se cuáles serían tus palabras. A ustedes gracias por motivarme a ser un profesional.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mis 2 docentes del programa de ingeniería mecánica que se encargaron de orientarme en todo el desarrollo de mi trabajo de grado. El Dr. Elkin Flórez y el Dr. Juan Carlos Serrano, ambos no solo se centraron en la orientación técnica de mi trabajo si no también en ayudarme a crecer como persona y profesional.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. JUSTIFICACIÓN	11
3. OBJETIVOS	12
3.1 Objetivo general.....	12
3.2 Objetivos específicos	12
4. ESTADO actual	13
5. RESULTADOS	15
6. CONCLUSIONES.....	22
7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	24
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
9. ANEXOS	26
9.1 Anexo 1-TERMOFLUIDOS, UN ENFOQUE PRÁCTICO.....	26

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Libros de termodinámica	11
Tabla 2 Libros de mecánica de fluidos	11
Tabla 3 Unidades de la asignatura de termofluidos 1	15

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Contenido del texto guía.....	16
Figura 2 Ejercicios del banco de exámenes.	17
Figura 3 Estructura de los problemas guías	18
Figura 4 Estructura de los problemas propuestos.	19
Figura 5 Una definición teórica de fuente propia por parte de los autores	20
Figura 6 Algunos libros complementarios.	20
Figura 7 Imágenes hechas en el entorno de Inkscape	21
Figura 8 Códigos de fuente propia en Matlab.....	22

1. INTRODUCCIÓN

En las carreras de ingeniería es común encontrar dentro de sus planes de estudio las asignaturas de mecánica de fluidos y termodinámica independientemente. La literatura relacionada con estas dos asignaturas es bastante extensa y pueden encontrarse un sin número de libros que las abordan de forma separada. Actualmente, dentro de los libros más utilizados por los estudiantes de las carreras que incorporan en su plan de estudio dichas asignaturas, se encuentran: *Termodinámica* de Yunus A. Cengel ^[1] y *Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones* ^[2] del mismo autor, los cuales al día de hoy pueden ser encontrados en el servicio de bibliotecas de cada universidad, junto a los libros *mecánica de fluidos de Potter* ^[4] y *fundamentos de termodinámica técnica* de Michael Moran y Howard Shapiro ^[5]. Sin embargo, no es común encontrar en un plan de estudio de ingeniería una asignatura que involucre ambas áreas en el mismo contenido, como sucede en algunas carreras de ingeniería de la universidad de Pamplona, con la asignatura termofluidos y termofluidos I.

El presente trabajo de grado tendrá como fin contribuir con la elaboración de un texto guía para la asignatura de termofluidos I, en la cual, a diferencia de los libros antes mencionados, incluirá las temáticas de la mecánica de fluidos y la termodinámica, simultáneamente, requeridos para el desarrollo de la asignatura. Además, con la elaboración de este texto guía se busca suplir para futuro el bajo índice de este tipo de textos por estudiante, con el que se cuenta actualmente en la Universidad de Pamplona, que es de 322 estudiantes y solo 126 libros, que tratan de forma individual la mecánica de fluidos y la termodinámica. De esta forma se puede lograr que más estudiantes puedan tener acceso a libros que les aporten al mejoramiento del proceso de aprendizaje de la asignatura de termofluidos y termofluidos I, ya que como lo muestra el índice antes mencionado, los recursos ofrecidos por la biblioteca de la universidad de pamplona, en tal sentido, son limitados. Por lo tanto, se contribuirá, a la vez, a mejorar el contenido bibliográfico ofrecido por la biblioteca José Rafael Faria. Además, de aportar a mejorar la productividad académica de los docentes del programa de ingeniería mecánica de la Universidad.

Teniendo en cuenta que el trabajo de grado se centra en contribuir al desarrollo del texto guía, será desarrollado un apoyo a los docentes Elkin G. Flórez S. Y Juan C. Serrano R. quienes han venido impartiendo la asignatura en la facultad de ingenierías durante los últimos 20 años. Las notas de clase y los ejercicios y exámenes desarrollados por estos docentes son el principal insumo para la construcción del libro, reforzando todo el contenido teórico con la bibliografía existente en el mercado.

Como resultado o producto se obtuvo una primera versión del libro que aborda las primeras cuatro unidades del contenido programático de la asignatura de termofluidos I, ofertada en el programa de ingeniería mecánica de la Universidad de Pamplona. Este texto incorpora secciones dedicadas a la definición y explicación de

forma sencilla de los conceptos teóricos, mediante ejemplos prácticos y la solución de ejercicios que abordan los distintos temas. De igual forma, al final de cada capítulo se proponen ejercicios que ayudaran a los estudiantes a fortalecer los conceptos adquiridos y afiancen sus conocimientos en el área.

2. JUSTIFICACIÓN

En la Universidad de Pamplona hay 8 carreras de ingeniería que, dentro de su pensum, imparten la asignatura de termofluidos. En total se tiene un promedio semestral de unos 322 estudiantes que requieren el uso de libros que correspondan a los temas que describe el contenido de la asignatura, que son una mezcla de la mecánica de fluidos y la termodinámica, donde un promedio de 42 estudiantes pertenece a la carrera de ingeniería mecánica y otros 280 a otras 7 carreras. Consultando la APP de la biblioteca de la universidad, se buscaron los recursos bibliográficos referentes a las 2 áreas.

Como resultados de la búsqueda bibliográfica hecha en la APP, la biblioteca posee los siguientes libros:

Tabla 1 Libros de termodinámica

Termodinámica		
NOMBRE	AUTOR	Nº LIBROS
Calor y termodinámica	Zemansky Mark	4
Curso de termodinámica	Aguilar peris	15
Ejercicios de ciencias físicas: Termodinámica	Annequin R.	2
Termodinámica	Otros autores	70
TOTAL		91

Tabla 2 Libros de mecánica de fluidos

Mecánica de fluidos		
NOMBRE	AUTOR	Nº LIBROS
Introducción a la mecánica de fluidos	Beltran P. Rafael	1
Mecánica de fluidos	Willie E. Benjamin	19
Mecánica de fluidos	Edger Donal F.	5
Mecánica de fluidos	Roberson Jhon A.	1
Mecánica de fluidos	Robert Mott	2
Mecánica de fluidos	White Frank	2
Mecánica de fluidos	Merle Potter	5
TOTAL		35

De acuerdo a estos datos se puede concluir que los libros de termodinámica cubren un 28%, es decir 1 libro por cada 4 estudiantes y los de mecánica de fluidos un 11%, o 1 libro por cada 9 estudiantes de los que cursan la asignatura de termofluidos I, siendo que estos libros individualmente no abordan el total contenido programático de la asignatura mencionada. Lo anterior, pone en evidencia la necesidad de poseer más libros en estas áreas o contar con libros específicos de termofluidos, como el que se piensa apoyar para su desarrollo en la presente tesis.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir al desarrollo de un texto guía de la materia termo fluidos I de la Universidad de Pamplona

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir con los tutores el contenido temático del libro de acuerdo al contenido programático de la materia
- Apoyar el desarrollo teórico de cada capítulo del libro
- Realizar la diagramación del libro y códigos para los ejercicios
- Apoyar el desarrollo de los ejercicios guías y proponer ejercicios para el libro

4. ESTADO ACTUAL

El contenido de la materia de termo fluidos actualmente abarca 6 unidades, organizadas de forma que cada una de ellas sea un complemento para la unidad siguiente. Estas unidades son:

- Unidad 1: Conceptos básicos y definiciones

Se abordan temáticas como clasificación de los flujos de fluidos, unidades y cantidades físicas, sistemas y postulado de estado. Al ser la primera unidad el estudiante adquiere bases y definiciones necesarias para las demás unidades.

- Unidad 2: Estática de fluidos

Dedicado a estudiar las fuerzas generadas por los fluidos en reposo debido a la presión, se estudian los métodos para determinar las variaciones de presión del fluido en reposo y la fuerza ejercida sobre superficies sumergidas

- Unidad 3: Sustancias puras

La unidad introduce al estudiante al concepto de sustancias puras y a su análisis de cambio de fases mediante el uso de diagramas $P-v-T$. Como complemento se agregan los temas de gases ideales y la ecuación de estado de gas ideal.

- Unidad 4: Leyes fundamentales

Esta unidad es la correspondiente a estudiar las leyes que describen el comportamiento de un fluido, las cuales son la ley de conservación de masa, conservación de energía, conservación de cantidad de movimiento. Adicionalmente se analiza la aplicación de las leyes de Newton en un sistema.

- Unidad 5: Segunda ley de la termodinámica

El estudio de la segunda ley aporta a los estudiantes conocimientos sobre la dirección en la que ocurren los procesos, así mismo como la calidad y la cantidad de energía utilizada para llevar a cabo cualquier proceso.

- Unidad 6: Entropía

siendo la última de las unidades se enfoca en dar un enfoque práctico a la segunda ley de la termodinámica.

Los actuales libros de mecánica de fluidos cubren la temática vista en las unidades 1 y 2 que son conceptos básicos y definiciones y estática de fluidos respectivamente, mientras que los libros de termodinámica abordan estos mismos conceptos desde un punto de vista muy similar, ya en la unidad 3 se centran en sustancias puras, la unidad 4 leyes fundamentales, unidad 5 segunda ley de la termodinámica y la unidad 6 entropía. Para el estudiante se hace importante adquirir los conocimientos necesarios que lo ayuden a abordar los problemas de ingeniería

mecánica, y referente a estas áreas relacionadas con los fluidos y la termodinámica. Con base a lo anterior, el alcance del presente trabajo estará limitado a las primeras cuatro unidades mencionadas anteriormente.

La Tabla 1 y Tabla 2 muestran claramente que en la actualidad se pueden adquirir libros que solo tratan la mecánica de fluidos y otros que solo tratan la termodinámica, por ende, los estudiantes que cursan la asignatura de termo fluidos I requieren en el transcurso semestral cargar consigo 2 libros.

Los conceptos básicos como la clasificación de los flujos de fluidos, sistema, estado y equilibrio, junto a las propiedades de los fluidos, son las bases para comprender los principios de funcionamiento de cualquier máquina hidráulica, estos temas de la mecánica de fluidos han sido estudiados desde hace muchos años y en la actualidad los estudiantes pueden encontrar toda esta información plasmada en un centenar de libros, donde uno de los más conocidos en la carrera de ingeniería mecánica es [1].

5. RESULTADOS

El resultado obtenido representa el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos planteados y del objetivo general, los cuales pueden ser evidenciados a continuación:

- Definir con los tutores el contenido temático del libro de acuerdo al contenido programático de la materia

De acuerdo al contenido programático que tiene la asignatura de termofluidos se deben abarcar 6 unidades, las cuales son:

Tabla 3 Unidades de la asignatura de termofluidos I

Unidad 1	Conceptos básicos y definiciones
Unidad 2	Estática de fluidos
Unidad 3	Sustancias puras
Unidad 4	Leyes fundamentales
Unidad 5	Segunda ley de la termodinámica
Unidad 6	Entropía

Debido al tiempo con el que se disponía para la elaboración del texto guía se determino desarrollar las primeras 4 unidades, dejando las 2 unidades restantes para un futuro trabajo de grado. La Figura 1 muestra el contenido del texto guía donde se evidencia el cumplimiento de lo propuesto para este objetivo.

1	Conceptos básicos y definiciones	1
1.1	¿Qué es termofluidos?	1
1.2	Cantidades físicas, Dimensiones y unidades	2
1.3	Definiciones en termofluidos	3
1.4	Procesos y ciclo	5
1.5	Propiedades de los fluidos	6
2	Estática de fluidos	19
2.1	¿Qué es presión?	19
2.2	Variación de la presión	19
2.3	Medición de la presión	22
2.4	Fuerzas sobre superficies sumergidas	23
2.5	Flotación y estabilidad	28
2.6	Fluidos en aceleración lineal y angular	31
3	Sustancias puras	45
3.1	¿Que es una sustancia pura?	45
3.2	Temperatura y presión de saturación	45
3.3	Fases de una sustancia pura. Diagrama $P - v, T - v, P - v - T$	46
3.4	Energía interna, entalpía y calores específicos de gases ideales	47
3.5	Herramientas de cálculo de propiedades de sustancias puras	49
3.6	Ecuación de estado de gases ideales. Otras ecuaciones de estado	51
4	Leyes fundamentales	63
4.1	Fundamentos	63
		v

Contenido

4.2	Conservación de la masa o principio de continuidad	67
4.3	Conservación de la energía	68
4.4	Conservación de la cantidad de movimiento	79

Figura 1 Contenido del texto guía

- Apoyar el desarrollo de los ejercicios guías y proponer ejercicios para el libro.

El cumplimiento de este objetivo se realiza mediante el uso del banco de exámenes con el que cuentan los docentes de la asignatura, del cual se tomaron los ejercicios y fueron transcritos al entorno de ecuaciones en *Latex* y las imágenes elaboradas mediante *Inscap*. La Figura 2 muestra un ejemplo de ejercicio del banco de exámenes, la Figura 3 y Figura 4 ilustran el estilo de los problemas guías y problemas propuestos respectivamente, ambos sacados del banco de exámenes.

Solución 1er Examen Termodinámica I
Mayo-2012

1-) D.C.L

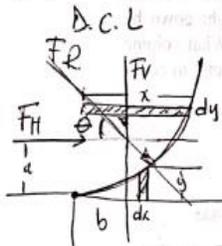


$$\sum F_y = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} W_T = W_{\text{carg.}} + W_{\text{conc}} = 100000(9.81) + \rho_{\text{conc}} V_{\text{conc}} \\ F_B - W_T = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} F_B = \rho_f V_d = 9810 \cdot (1.03) \cdot 3 \cdot 10 = 303129 \text{ N} \\ \Rightarrow 303129 - 981000 + 9810(2.34) \cdot V_{\text{conc}} = 0 \Rightarrow V_{\text{conc}} = 9.766 \text{ m}^3 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow 303129 - 981000 + 9810(2.34) \cdot V_{\text{conc}} = 0 \Rightarrow V_{\text{conc}} = 9.766 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{carg.}} = 3 \times 16 = 48 \Rightarrow 9.766 < 48 \Rightarrow \text{RTA: SI} //$$

2-)



$$F_H = 9810(0.85) \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2 = 8338.5 \text{ N}$$

$$F_V = \rho_f V = \rho_f \cdot 2 \cdot A$$

$$F_V = 0.85 \cdot 9810 \cdot 2 \cdot (0.471) = 7854.9 \text{ N}$$

$$F_V = 7854.9 \text{ N}$$

$$\int dA = \int_0^{\sqrt{2}} x dy = \frac{\sqrt{2}}{2} \int_0^{\sqrt{2}} y dx$$

$$A = \frac{\sqrt{2}}{2} \int_0^{\sqrt{2}} 2x^2 dx = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{2}{3} x^3 \Big|_0^{\sqrt{2}}$$

$$A = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{2}{3} \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^3 = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{3}$$

$$A = 0.471 \text{ m}^2$$

$$F_R = \sqrt{(7854.9)^2 + (8338.5)^2} = 11455.5 \text{ N}$$

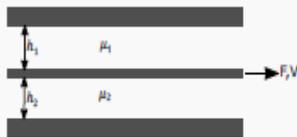
$$\theta = \tan^{-1} \frac{7854.9}{8338.5} = 43.29^\circ$$

Figura 2 Ejercicios del banco de exámenes.

1. Conceptos básicos y definiciones

Problema guía

Una placa delgada de 25 cm x 25 cm es halada a 1.2 m/s horizontalmente a través de una capa de fluido de 4 mm de espesor intercalada entre 2 placas, una (inferior) estacionario y la otra (Superior) moviéndose a velocidad constante de 0.5 m/s, como se muestra en la figura. Si el fluido 1 es aceite SAE 30 a 50°C y el fluido 2 es aceite SAE 10 a 20°C, con $h_1 = 2.4$ mm y $h_2 = 1.6$ mm, y asumiendo una distribución de velocidad lineal en cada fluido, determine la fuerza F que debe ser aplicada sobre la placa para mantener este movimiento.



Las viscosidades dinámicas de los fluidos son:

$$\mu_1 = 0.04 \text{ Pa}\cdot\text{s} \quad \mu_2 = 0.1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

La fuerza total aplicada a la placa

$$F = F_{\mu_1} + F_{\mu_2}$$

$$F_{\mu_1} = \tau_{up} A = \mu_1 A \frac{du}{dy}$$

$$F_{\mu_1} = 0.04(0.25)^2 \left(\frac{1.2 + 0.5}{2.4 \times 10^{-3}} \right) = 1.77$$

$$F_{\mu_2} = \tau_{bottom} A = \mu_2 A \frac{du}{dy} = 0.1(0.25)^2 \left(\frac{1.2}{1.6 \times 10^{-3}} \right) = 4.69 \text{ N}$$

Finalmente, la fuerza resultante

$$F = 1.77 + 4.69 = 6.46 \text{ N}$$

Figura 3 Estructura de los problemas guías

9. El sistema de clutch que muestra la figura es utilizado para transmitir un torque a través de una película de aceite con $\mu=0.38 \text{ N s/m}^2$ entre dos discos idénticos de diámetro 30 cm. Cuando el eje del disco conductor rota a una velocidad de 1450 rpm, se observa que el eje del disco conducido rota a 1398 rpm. Asumiendo un perfil de velocidad lineal para la película de aceite, determinar el torque transmitido y la potencia.

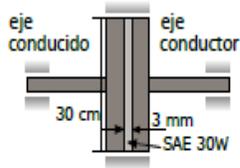


Figure 1.16: Ejercicio 9

10. Una película de espesor constante de un líquido viscoso fluye en movimiento laminar bajando una placa inclinada a un ángulo θ , como muestra la figura. El perfil de velocidad es: $U = C y (2h - y)$. Obtener una expresión para el esfuerzo cortante ejercido por el fluido sobre la placa.

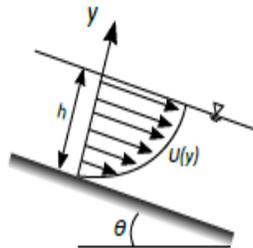


Figura 4 Estructura de los problemas propuestos.

- Apoyar el desarrollo teórico de cada capítulo del libro

En este objetivo fue necesario buscar información referente a los temas a desarrollar en fuentes bibliográficas externas, como lo son el libro de mecánica de fluidos de cengel ^[1] y la termodinámica de cengel ^[1]. La figura xxx presenta una definición teórica aportada por los docentes a cargo del desarrollo del texto guía, mientras que la figura xxx muestra algunos de los libros utilizados para complementar la teoría de los docentes.

Conceptos básicos y definiciones

1.1 ¿Qué es termofluidos?

El hablar de termofluidos requiere comprender 3 disciplinas básicas de la ingeniería. La primera de estas es; la mecánica de fluidos, que analiza el movimiento de los fluidos y las fuerzas físicas que generan dicho movimiento. La siguiente disciplina es la termodinámica, que estudia los tipos de energía que puede contener un sistema y la forma como esta energía se transporta, principalmente el calor y el trabajo. Finalmente, la transferencia de calor, donde se estudian los mecanismos utilizados para el transporte de energía en forma de calor. En la figura 1.1 se puede observar algunas aplicaciones como a) la mecánica de fluidos en el funcionamiento de una presa hidroeléctrica y b) la pérdida de energía del café hacia el ambiente, el cual lo hace disminuir su temperatura hasta alcanzar el equilibrio térmico con éste.



Figura 5 Una definición teórica de fuente propia por parte de los autores



Figura 6 Algunos libros complementarios.

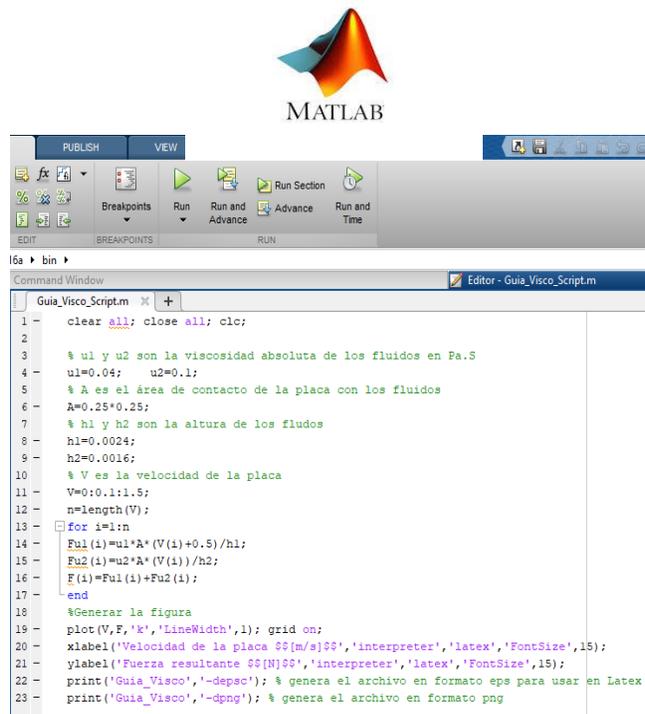


Figura 8 Códigos de fuente propia en Matlab

Al haber cumplido y desarrollado cada uno de los objetivos específicos se logra el resultado propuesto por el objetivo general. El texto guía desarrollado se presenta como anexo.

6. CONCLUSIONES

La elaboración de un texto guía de este estilo requirió de una amplia fuente bibliográfica, de donde se pueda obtener información que pueda ser útil para el contenido. De igual forma, al avanzar en el desarrollo del texto se hizo necesario aprender sobre el uso de herramientas de edición gráfica que permitieran crear las imágenes necesarias para dar claridad a ideas que se deseaban explicar. La herramienta *InkScape* resultó ser ideal para esta actividad, permitiendo crear un banco de imágenes de alta resolución que fueron insertadas en el documento.

El documento elaborado es ideal para aquellos estudiantes que requieran cursar las asignaturas de termofluidos y termofuidos 1, ya que integra los temas de la mecánica de fluidos y la termodinámica junto a una base de ejercicios propuestos, utilizados por los docentes a lo largo del desarrollo de sus clases. Adicionalmente

los ejercicios permitirán el desarrollo lógico para la programación de Scripts mediante *Matlab* llevando a los estudiantes a ser más eficientes y competitivos.

La culminación de este texto guía logrará aumentar el porcentaje de estudiantes que pueden tener acceso a fuentes bibliográficas, como se justificó en el apartado 2, evitando posibles violaciones a los derechos de autor cuando se imprime o descargan otros libros desde la web.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se propone culminar las unidades 5 y 6 presentadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, haciendo uso tanto de las fuentes bibliográficas ya consultadas como de las herramientas de edición de imágenes *Inkscape* y de programación numérica *Matlab*.

Adicionalmente al contenido teórico de las unidades mencionadas se deberán desarrollar los ejercicios guías y propuestos, que ayuden a afianzar los conocimientos de los estudiantes.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Cengel Yunus A. and Cimbala John M.** Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones. Mc Graw Hill. México. 2006
- [2] **Cengel Yunus A.** Termodinámica. Mc Graw Hill. México. 2006.
- [3] **Facultad de ingenierías y arquitectura.** Contenido programático termo fluidos I. Universidad de pamplona.

9. ANEXOS

9.1 ANEXO 1-TERMOFLUIDOS, UN ENFOQUE PRÁCTICO