

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**APOYO EN ACTIVIDADES EXPERIMENTALES DEL PROYECTO DE USO DE NANOFLUIDOS EN LA RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL DEL LABORATORIO DE CIENCIAS TÉRMICAS DEL ITM**

**LUIS FERNANDO TABARES ECHAVARRÍA**

Programa académico

**Ingeniería Electromecánica**

Director(es) de trabajo de grado

**KAREN PAOLA CACUA MADERO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**MEDELLÍN-COLOMBIA**

**2018**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Este informe reúne los resultados del trabajo realizado en el laboratorio de Ciencias térmicas del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM). El cual corresponde a la modalidad de trabajo de grados llamada producto de laboratorio. A su vez, el producto obtenido está enmarcado dentro de los proyectos relacionados con el uso de nanofluidos como fluido de trabajo en tubos de calor y termosifones. Durante el desarrollo de este trabajo se construyó un montaje que facilitara la conexión y desconexión de termopares a las tarjetas de adquisición de datos, las cuales se encargaban de la recolección de datos de temperatura durante las pruebas experimentales. Adicionalmente, se construyó un sistema de protección de las tarjetas para evitar su deterioro. Finalmente, con este trabajo se logró obtener un diseño y un producto físico, el cual sirvió para agilizar el alistamiento y la puesta en marcha de las pruebas experimentales en un termosifón de vidrio.

**Palabras clave:** Termosifón, tarjeta de adquisición.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

Inmensamente siento alegría de terminar un trayecto más de formación profesional, el cual fue logrado por ese grupo de personas que sin medir la entrega de saberes dieron todo para apoyarme en esta etapa de vida. Agradezco a Dios, por ser guía, entregar las fuerzas necesarias para avanzar cada día, por la verriquera y sabiduría para cruzar cada momento de esta gran oportunidad. Desde luego, agradezco de manera sincera a Leidy Bianet Castrillón (mi esposa) por toda la paciencia, dedicación y fortalecimiento de familia, a la directora de laboratorio la Doctora Karen Paola Cagua, que con toda la disciplina, rigurosidad, conocimiento, sabiduría y profesionalismo forma profesionales del futuro. Gracias a todas las personas del laboratorio que de una forma u otra entregaron sus conocimientos y saberes. Para terminar, agradezco a los familiares que desde el inicio de la vida forman en los valores y principios para ser una persona mejor cada día.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	5
1.1 Generalidades.....	5
1.2 Objetivo .....	6
2. METODOLOGÍA.....	6
2.1 Montaje del termosifón .....	6
2.2 Estado de los equipos y limpieza .....	8
2.3 Adquisición de datos .....	9
2.4 Fabricación bases para sistema de adquisición de datos.....	9
3. RESULTADOS .....	10
4. CONCLUSIONES .....	14
5. Bibliografía .....	15

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Generalidades

La transferencia de calor consiste en la propagación de energía en forma de calor por distintos medios, esta transferencia se puede dar por diferencia de temperaturas o cuando existe un contacto físico entre dos elementos o sistemas (Cengel, 2003). Este fenómeno puede darse en una infinidad de procesos industriales y elementos de la vida cotidiana. Entre esos, existen los termosifones, los cuales son un sistema de intercambio, recuperación y/o transferencia de energía en forma de calor con alta eficiencia. Particularmente, los termosifones son un tipo de tubo de calor asistidos por gravedad, que consisten en un contenedor sellado con un fluido de trabajo en su interior (Sukchana & Pratinthong, 2016).

Los termosifones están divididos en tres zonas principales; un zona de evaporación, en donde se agrega energía para producir el cambio de fase del fluido de trabajo, una zona adiabática, donde se considera nula la transferencia de calor y sólo sirve para el tránsito del fluido de trabajo y finalmente, una zona de condensación en donde hay un rechazo de calor por la presencia de un sumidero, y el fluido de trabajo en forma de vapor se condensa y retornando al evaporador asistido por gravedad y una diferencia de densidades (DUNN, REAY, DUNN, & REAY, 1994).

Estos dispositivos son generalmente usados para el aprovechamiento de calores residuales a nivel industrial. Entre los fluidos incorporados a los termosifones los más comunes son el agua, el etilenglicol y acetona (Brouwer, 2016). Sin embargo, en los últimos años se ha potenciado el uso de nanofluidos como fluidos de trabajo (Alammar, Al-Dadah, & Mahmoud, 2016; Asirvatham, Nimmagadda, & Wongwises, 2013), los cuales son una suspensión coloidal de partículas de tamaño nanométrico en un fluido base (Jang & Choi,

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2004). Los investigadores que han venido trabajando con este fluido de última generación, pretenden que, por medio de este, se mejoren las propiedades térmicas del fluido base, y con ello obtener dispositivos con alto rendimiento.

En la actualidad el laboratorio de ciencias térmicas del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) cuenta con un termosifón fabricado en vidrio, el cual tiene un arreglo de termocuplas que se usa para determinar el funcionamiento del dispositivo. Las lecturas de temperatura, a su vez, se obtienen mediante tarjetas de adquisición de datos. Todos estos dispositivos están al servicio de los estudiantes y docentes de la institución, para realizar diferentes prácticas y/o evaluaciones experimentales, con el fin de desarrollar proyectos de investigación, tesis de posgrados y trabajos de pregrado.

## 1.2 Objetivo

Apoyar las actividades experimentales en el uso de los nanofluidos a través del termosifón para la recuperación de calor residual.

## 2. METODOLOGÍA

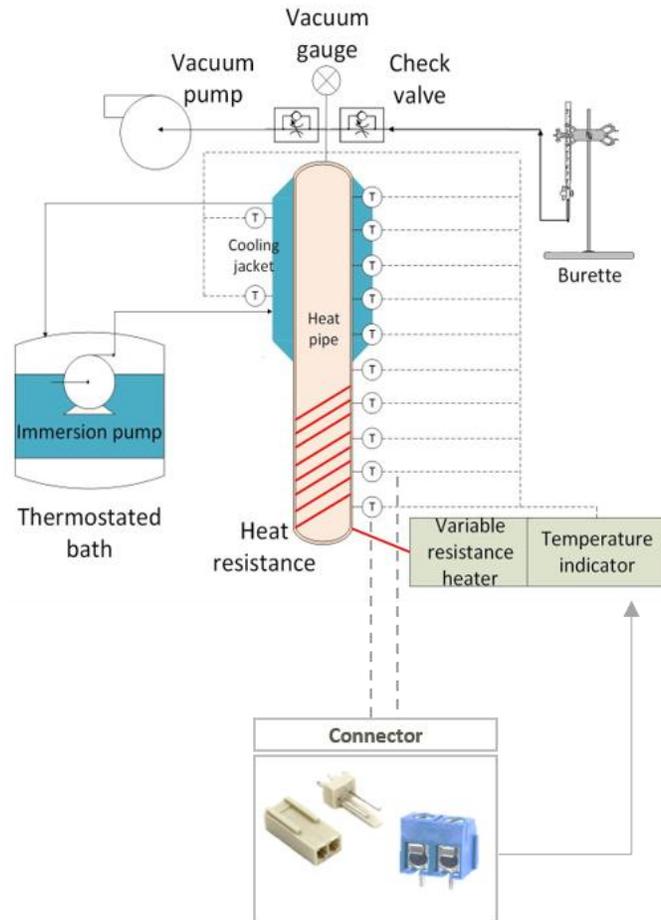
### 2.1 Montaje del termosifón

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar el montaje experimental del termosifón de vidrio usado en las pruebas experimentales de este informe. En la zona del evaporador, una resistencia eléctrica flexible fue puesta, para simular el calor de entrada al dispositivo. A su vez, la resistencia eléctrica se conecta a varias fuentes de voltaje DC conectadas en serie entre ellas. Adicionalmente, un arreglo de termopares tipo K estaban distribuidos a lo largo del termosifón, los cuales se encargaban de la recolección de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

datos de temperatura una vez el termosifón entrara en ciclo de operación. Los datos obtenidos por las termocuplas, eran leídos por unas tarjetas de adquisición de datos.

Por otra parte, en la zona de condensación del tubo, existe una chaqueta de vidrio instalada en su exterior, por la cual, se hacía recircular agua de refrigeración proveniente de un baño termostático (Alpha RA 24, LAUDA). De esta manera, se logró simular el sumidero de calor del dispositivo, el cual logra hacer que, el fluido de trabajo al interior del termosifón se condensa y cumpliera su ciclo de trabajo. El flujo másico y la temperatura del baño termostático fueron ajustados a 83 g/min y 9 °C, respectivamente. El control de flujo másico se realizó mediante una válvula de aguja y un medidor de flujo Coriolis (Siemens, SITRANS 2100DI). Durante la puesta a punto del sistema, el termosifón de vidrio se cerraba y era sometido a una presión de vacío de 17,5 inHg. Luego, se procedía al llenado con agua o nanofluidos.



**Figura 1.** Montaje empleado en pruebas experimentales

## 2.2 Estado de los equipos y limpieza

El ejercicio experimental también inició con el diagnóstico de los equipos del laboratorio de ciencias térmicas del ITM, el cual se encuentra ubicado en el campus de Fraternidad. Mediante este, se realizó el mantenimiento de los equipos y elementos empleados durante las pruebas experimentales llevadas a cabo en dicho laboratorio. De esta manera, equipos

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

como el baño termostático fueron lavados con el fin de retirar impurezas y llenado con agua desionizada. Para esto, fue necesario el uso de una bomba de agua sumergible.

Por otra parte, el termosifón de vidrio cuenta con una base de cobre, la cual debido a la contacto con el fluido de trabajo se oxidaba o se contaminaba fácilmente con nanopartículas sedimentadas del nanofluido. Para esto, la base de cobre se lavaba y lijaba luego de cada prueba. Además, el tubo de vidrio fue lavado varias veces para retirar partículas adheridas a las paredes y purgado con agua desionada y acetona después de cada prueba. Finalmente, la resistencia eléctrica cuenta con un recubrimiento que se desprendía y degradaba fácilmente debido a las altas temperaturas alcanzadas por la resistencia, para evitar esto, luego de cada prueba se bajaba la resistencia eléctrica y el recubrimiento se limpiaba con un paño húmedo de agua.

### 2.3 Adquisición de datos

Fueron utilizado dos tipos de conectores (acople 1 y acople 2 mostrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** enmarcados como conectores) con el fin de evaluar el efecto de estos en las mediciones de temperatura. Para esto fueron medidas las temperaturas sin ningún conector (conexión directa a la tarjeta de adquisición de datos) y con cada uno de los conectores. Dichas medidas fueron registradas cada 6 minutos.

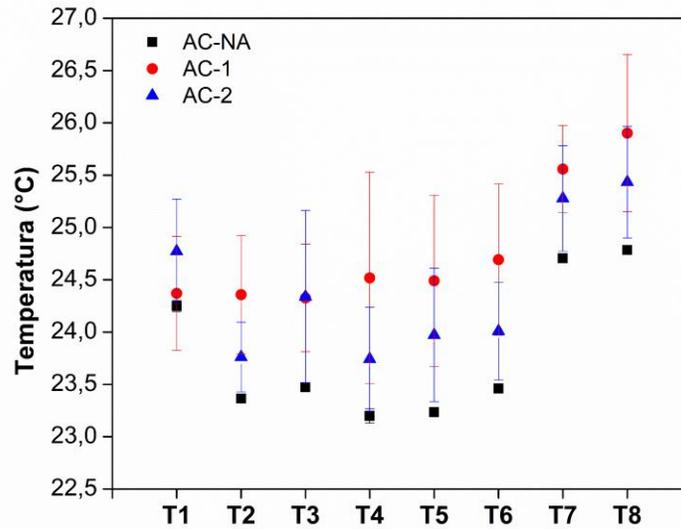
### 2.4 Fabricación bases para sistema de adquisición de datos

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fueron fabricadas cuatro bases de madera con el fin de proteger las tarjetas de adquisición de datos de cualquier sustancia que pudiera afectar su uso. Para esto fueron tomadas las dimensiones de las tarjetas y posteriormente, los trozos de madera fueron cortados mediante láser.

### 3. RESULTADOS

En la Figura 2 se muestra el perfil de temperaturas para cada uno de los acoples y para la conexión directa a la tarjeta de adquisición. El acople 1 (AC-1) y el acople 2 (AC-2) exhiben perfiles de temperatura superiores en comparación a la conexión directa (AC-NA). Además, ambos acoples evidencian altas desviaciones estándar.

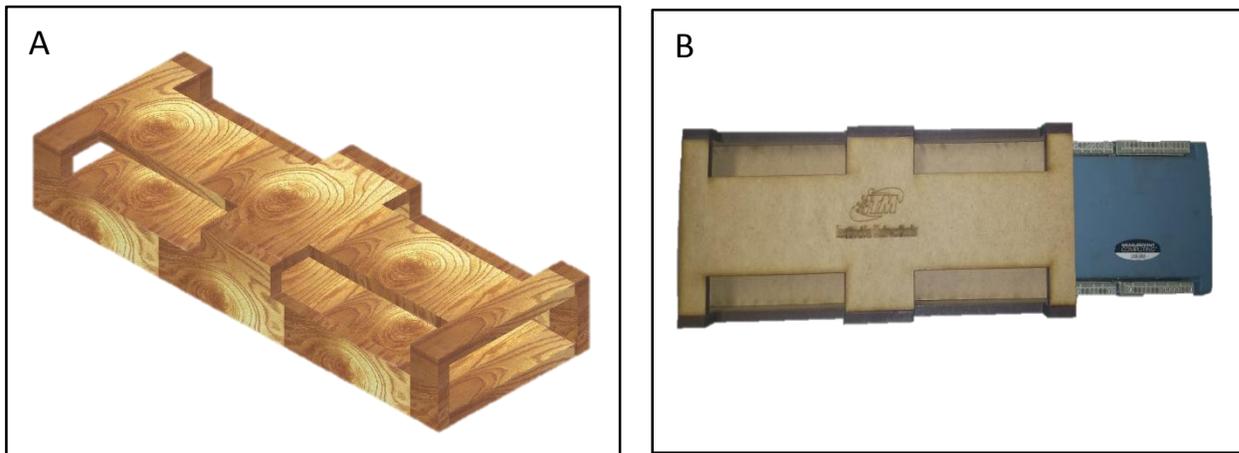


**Figura 2.** Perfil de temperatura para diferentes acoples

Las termocuplas estan formadas por dos metales, los cuales al estar a diferentes temperaturas generan una corriente eléctrica (Hagart, 2014). Posiblemente las diferencias de temperatura de los acoples en comparación a la tarjeta de adquisición de datos, esta asociada con la resistencia eléctrica adicional generada por cada uno de los acoples. Esto evita que la tarjeta de adquisición de datos pueda captar la totalidad de la señal.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Durante el diagnóstico de los equipos se identificó una falencia en el soporte y protección de las tarjetas de adquisición de datos. En la Figura 4 a y b se muestra el diseño realizado y el montaje real, respectivamente.



**Figura 4.** Diseño CAD de la caja de protección. (B) montaje real de la tarjeta de adquisición

Durante las pruebas experimentales se evidenció que las tarjetas redujeron el movimiento y por tanto, las termocuplas tendían menos a desconectarse y dar valores erróneos. Sin embargo, la conexión de las termocuplas antes de las pruebas requerían mas tiempo, debido a que el diseño de la caja estaba enfocado en evitar el movimiento de la tarjeta, por lo cual el espacio para lograr acoplar las termocuplas en el conector era demasiado reducido.

En la Figura 3. se puede notar los resultados de una prueba experimental hecha en el termosifón de vidrio con la asistencia del sistema de adquisición de datos. Cada una de las curvas mostradas, son el cambio de temperatura con respecto al tiempo recolectadas para cada una de las termocuplas mostradas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** De esta manera, se puede observar que las tarjetas pudieron seguir operando de forma correcta luego de las modificaciones hechas.

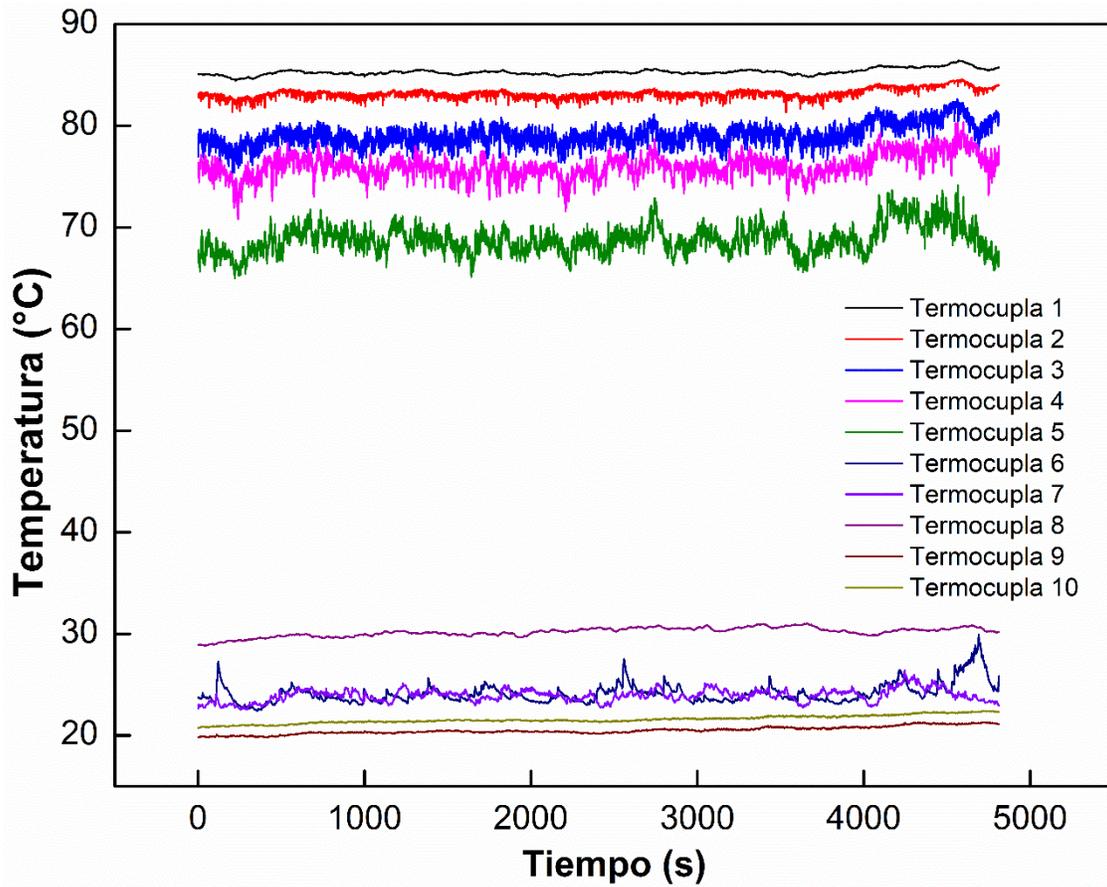


Figura 3. Prueba de termosifón realizada con la asistencia del sistema de adquisición de datos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. CONCLUSIONES

Luego del trabajo realizado en el laboratorio de ciencias térmicas, se apoyaron las pruebas experimentales realizadas en un termosifón de vidrio. Además, se identificó la necesidad de conexión y desconexión ágil de los termopares a las tarjetas de adquisición de datos. Para ello, se construyó un soporte físico y se acondicionaron acoples rápidos para la conexión de las termocuplas al sistema. El sistema operó adecuadamente, sin interferencias de los acoples y el montaje construido.

Por otra parte, se logró realizar una calibración de las tarjetas mediante la comparación entre una tarjeta con el sistema construido y una sin él, para lo cual se obtuvieron datos cercanos que comprobaron la funcionalidad del sistema.

Para trabajos futuros en el laboratorio se recomendaría el uso de tableros eléctricos y de control para aumentar la seguridad y la fiabilidad en las pruebas y los resultados obtenidos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. Bibliografía

- Alammar, A. A., Al-Dadah, R. K., & Mahmoud, S. M. (2016). Numerical investigation of effect of fill ratio and inclination angle on a thermosiphon heat pipe thermal performance. *Applied Thermal Engineering*, *108*, 1055–1065. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.07.163>
- Asirvatham, L. G., Nimmagadda, R., & Wongwises, S. (2013). Heat transfer performance of screen mesh wick heat pipes using silver-water nanofluid. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *60*(1), 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.11.037>
- Brouwer, H. S. . (2016). *Performance Characterization of Water Heat Pipes and their Application in CubeSats*. Delft, University of Technology. Retrieved from <http://repository.tudelft.nl/>
- Cengel, Y. A. (2003). *Heat transfer: A practical approach* (3ra edición). McGraw-Hill.
- DUNN, P. D., REAY, D. A., DUNN, P. D., & REAY, D. A. (1994). CHAPTER 2 – Theory of the Heat Pipe. In *Heat Pipes* (pp. 27–106). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-041903-9.50008-3>
- Hagart, A. C. (2014). *Temperature Measurement. Encyclopedia of Meat Sciences* (4th ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00074-X>
- Jang, S. P., & Choi, S. U. S. (2004). Role of Brownian motion in the enhanced thermal conductivity of nanofluids. *Applied Physics Letters*, *84*(21), 4316–4318. <https://doi.org/10.1063/1.1756684>
- Sukchana, T., & Pratinthong, N. (2016). A two-phase closed thermosyphon with an adiabatic section using a flexible hose and R-134a filling. *Experimental Thermal and Fluid Science*, *77*, 317–326. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.04.027>



INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Código	FDE 089
Versión	03
Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES *[Signature]* Luis Fernando Tabares

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

FIRMA ASESOR *[Signature]*

FECHA ENTREGA: 05/03/2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_\_      ACEPTADO\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_