



## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno  Proyecto Semilla  Proyecto Junior  Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica  Investigación Aplicada  Investigación Pedagógica  Innovación

**DEPARTAMENTO(S):**

1. Departamento de Ingeniería Mecánica
2. Departamento de Materiales

**LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:**

1. Energías Alternativas
2. Nanomateriales

### 1 Proyecto de Investigación

**Título:** Optimización del comportamiento óptico y térmico de un receptor de concentración solar de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor

**Resumen del proyecto** (máximo 200 palabras)

Los sistemas de energía que utilizan recurso solar deben incrementar su eficiencia a fin de ser competitivos en el mercado energético. El receptor es un elemento limitante de la eficiencia de estos sistemas. Se sugiere que a media temperatura, el uso de nanofluidos en absorción directa, como absorbedor volumétrico puede incrementar la eficiencia del receptor. Existen varios estudios que demuestran la utilidad del uso nanofluidos en estos receptores, ya que las nanopartículas modifican positivamente las propiedades ópticas y térmicas del fluido base. Sin embargo, queda por investigar los rangos de valores óptimos de los parámetros que gobiernan su eficiencia. Este trabajo propone el desarrollo de modelos ópticos (absorción de luz) y térmicos (transferencia de calor) para la optimización de los parámetros que maximizan la eficiencia de receptores de media temperatura (tamaño y distribución de partículas, morfología, composición, etc). Los modelos serán validados a través de un experimento y a través de la medición de las propiedades ópticas y térmicas de los nanofluidos utilizados. Para ello se sintetizarán varios tipos de nanofluidos. Se prevé el desarrollo de una tesis doctoral durante el proyecto. Los resultados relevantes serán publicados en revistas científicas de alto impacto, y presentados en congresos internacionales y nacionales.

Palabras clave (4-6): optimización, receptor solar de media temperatura, receptor volumétrico, nanofluidos



## 5 Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación

### 5.1 Objetivos

#### 5.1.1 Objetivo General

- Optimizar el comportamiento óptico y térmico de un receptor de concentración solar de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor

#### 5.1.2 Objetivos Específicos

- a. Desarrollar modelos ópticos y térmicos de un receptor de concentración solar de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor
- b. Sintetizar y evaluar las propiedades térmicas y ópticas de varios nanofluidos como medio absorbedor
- c. Validar los modelos desarrollados mediante una comparación experimental. Para ellos se diseñará y construirá un banco de pruebas de captadores solares de concentración de media temperatura.
- d. Optimizar los principales parámetros que gobiernan el comportamiento óptico y térmico de un receptor solar de media temperatura

### 5.2 Relevancia de esta propuesta de investigación y su relación con la(s) Línea(s) de investigación asociadas.

El presente proyecto es de gran relevancia en el contexto científico actual. El continuo incremento de la demanda de energía a nivel mundial, y específicamente a nivel nacional, que junto con la disminución sostenida de la producción petrolera, obliga a buscar otras alternativas de energía primaria para suplir este déficit entre la oferta y la demanda. La energía solar ofrece un gran potencial de aprovechamiento energético. Sumado esto al desarrollo de nuevas tecnologías, como es la nanotecnología, el potencial se incrementa, ya que es posible aprovechar de manera más eficiente esta fuente de energía renovable. Este proyecto se alinea con las líneas de investigación de **Energías Alternativas** en el Departamento de Ingeniería Mecánica y **Nanomateriales** en el Departamento de Materiales

### 5.3 Productos esperados

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| a. Publicaciones científicas (obligatorio);   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| b. Disertación a la Comunidad Politécnica;  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| c. Proyecto de Titulación;  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| e. Aplicación tecnológica construida o implementada;                                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| f. Patente presentada;  | <input type="checkbox"/>            |
| g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación. | <input checked="" type="checkbox"/> |

### 5.4 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

Al concluir el presente proyecto se espera conseguir diversos resultados que se detallan a continuación:

1. Dos modelos ópticos de radiación en medios semi-transparentes (nanofluidos), uno basado en el algoritmo de Monte Carlo y otro en un algoritmo simplificado como puede ser el de ordenadas discretas. El modelo de Monte Carlo, debido a su alta precisión y a su elevado coste computacional, servirá de referencia para el modelo de ordenadas discretas que será usado para la optimización.
2. Un modelo acoplado de la radiación en medios semi-transparente y la convección. Los modelos ópticos desarrollados antes se acoplarán a las ecuaciones del movimiento de flujo y de la conservación de la energía dentro del receptor propuesto. Para esto se utilizará un programa computacional ya desarrollado, como puede ser Fluent u OpenFoam.



**5** **Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación**

3. Un banco de pruebas de receptores solares lineales de media temperatura diseñado y construido. Este banco de pruebas servirá para la validación de los modelos desarrollados anteriormente. En el futuro este banco de pruebas servirá para medir el comportamiento energético de receptores solares lineales de media temperatura.
4. Rangos de trabajo óptimos de las variables que gobiernan el comportamiento térmico de un captador solar de media temperatura. Entre las variables a ser optimizadas se mencionan las siguientes, sin perjuicio de incluir otras: tamaño de las partículas, fracción volumétrica de la dispersión de partículas, material de las partículas, etc.
5. Procedimientos y protocolos de síntesis de partículas, obtención de nanofluidos y evaluación de sus propiedades como medio absorbedor desarrollados. Estos procedimientos y protocolos se definirán considerando sus ventajas y desventajas desde el punto de vista tecnológico e ingenieril.

La difusión de los resultados se la realizará en paralelo a la investigación. Se prevé al menos tres publicación en revistas científicas de alto impacto, dos congresos nacionales o internacionales, una disertación a la comunidad politécnica y al menos tres seminarios dirigidos a estudiantes, profesores e investigadores.

Además este proyecto involucrará una tesis doctoral y algunos proyectos de titulación, tanto de pregrado como de postgrado, lo cual representa la formación de talento humano que podrá seguir aportando con sus conocimientos en el campo energético. Así mismo, la formación de un grupo consolidado de trabajo multidisciplinario dentro de la universidad es de gran importancia. Este grupo podrá continuar con futuras investigaciones en el sector energético, así como estará en capacidad de transmitir los conocimientos adquiridos a través de clases universitarias, seminarios, talleres y conferencias.



6	<b>Descripción, metodología y cronograma de trabajo</b>
<p><b>6.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto</b> (Máximo dos carillas)</p> <p>Con el objetivo de incrementar la competitividad de los sistemas de energía solar, la eficiencia de los mismos debe ser incrementada [9]. El receptor es uno de los elementos fundamentales que determina la eficiencia de estos sistemas [9]. Con el fin de incrementar la eficiencia de los receptores solares, se está investigando en la utilización de receptores volumétricos en lugar de los receptores superficiales [1]. Este tipo de receptores tienen la ventaja de mejorar la eficiencia óptica (menores pérdidas por re-radiación) y de disminuir la temperatura en el absorbedor, con respecto a un receptor superficial. Esto conlleva a mejores eficiencias térmicas y menores problemas termo-mecánicos en el absorbedor [13]. Los receptores volumétricos han sido utilizados tanto en alta, media y baja temperatura [6-7, 10]. En baja y media temperatura se ha probado principalmente con el uso de nanofluidos (absorbedores solares directos, dispersión estable de nanopartículas en un fluido base) [7, 10], aunque también se ha sugerido el uso de una dispersión de partículas en un gas [11]. El uso de nanofluidos en un receptor solar se muestra ventajoso, ya que mejora significativamente las propiedades térmicas (conductividad, calor específico) y ópticas (absortividad, emisividad) del fluido base [16]. Si bien existe una amplia investigación sobre el comportamiento de absorbedores solares directos, estos están dirigidos principalmente a receptores de baja temperatura [16]. Algunas investigaciones están dirigidas a estudiar, tanto numérica como experimentalmente, receptores de media temperatura que utilizan nanofluidos como absorbedor [7, 4, 15, 17]. Sin embargo, existe poca información sobre los rangos de trabajo de los parámetros que maximizan el comportamiento óptico y térmico de un receptor solar de media temperatura que utiliza nanofluidos en el absorbedor.</p> <p>Este proyecto propone la investigación, tanto a nivel de simulación como a nivel experimental, de un receptor solar de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor. Los receptores de media temperatura incluyen concentradores solares de entre 10-70 soles [2]. Tecnologías típicas de este tipo de receptores incluyen captadores de concentración parabólica y concentradores lineales de Fresnel [18]. En una primera etapa del proyecto, se desarrollará un modelo del comportamiento óptico de la absorción de la radiación solar por el nanofluido confinado dentro de un tubo. Debido a los requerimientos computacionales de la optimización, la ecuación de transferencia de radiación será resuelta por un método simplificado (ordenadas discretas), la cual será validada por un método más preciso (método de Monte Carlo). En esta etapa también se sintetizará un conjunto de nanopartículas utilizando métodos termo-químico-mecánicos. Este tipo de métodos aseguran control adecuado en los procesos de síntesis y facilidad para la posterior incorporación de estos materiales en diferentes medios [5, 12, 14]. Estas nanopartículas serán caracterizadas y evaluadas para incorporarlas posteriormente en nanofluidos. Para ello se utilizarán bancos de pruebas hechos a medida. Se brindará especial atención a la posibilidad de incorporar en estos bancos de pruebas equipos de bajo costo y altas prestaciones [8]. En una segunda etapa, un modelo de la transferencia térmica del nanofluido acoplado al modelo radiativo será desarrollado. En una tercera etapa, un experimento de un receptor de absorción directa usando nanofluidos será llevado a cabo. Los resultados obtenidos en este experimento servirán para validar los modelos desarrollados previamente y para definir estrategias de mejora de las propiedades de los nanofluidos obtenidos. Finalmente en una cuarta etapa, un algoritmo de optimización será desarrollado y utilizado para encontrar los parámetros óptimos que gobiernan el comportamiento óptico y térmico del receptor. Se propone el uso de un algoritmo de optimización de enjambre de partículas (PSO algorithm) que se ha mostrado ventajoso en optimizaciones en receptores solares [9, 3]. Adicionalmente, las propiedades de algunos nanofluidos (conductividad, capacidad calórica, absortividad y transmisividad) serán evaluadas.</p> <p>Se pretende llevar una buena parte de la investigación a través de una tesis doctoral. Se prevé que esta tesis doctoral sea llevada a cabo en el departamento de Ingeniería Mecánica de la EPN en colaboración con algún laboratorio internacional, para lo cual se han iniciado los primeros contactos. Al finalizar el proyecto se esperan varios productos entre los que se incluyen al menos dos publicaciones en revistas científicas de alto impacto, al menos dos presentaciones en congresos nacionales o internacionales, una tesis doctoral, varios proyectos de titulación de pregrado y de postgrado.</p>	



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

**6.2 Cronograma de trabajo anual: (Descripción)**

Actividad	Primer Año				TOTAL
	Porcentaje de avance por mes				
	1-3	4-6	7-9	10-12	
1.1 Búsqueda bibliográfica general	60%				60%
1.2 Desarrollo de modelos de absorción de la radiación en medios semi-transparentes adaptados a las condiciones de receptores solares de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor	20%	20%	20%	20%	80%
1.3 Desarrollo de un modelo acoplado radiación-convección para un receptor solar de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor				20%	20%
1.4 Desarrollo de un algoritmo de optimización utilizando enjambres de partículas (PSO)			25%	25%	50%
2.1 Diseño y construcción de un banco de pruebas para captadores solares de media temperatura que utilizan nanofluidos como absorbedor				25%	25%
2.2 Validación de los modelos en base a la comparación con los resultados experimentales					0%
2.3 Síntesis de nanopartículas, obtención y caracterización de las propiedades térmicas y ópticas de potenciales nanofluidos a ser utilizados en captadores solares de media temperatura		5%	10%	10%	25%
3.1 Identificación de los parámetros principales que gobiernan el comportamiento térmico y óptico de un receptor solar de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor				25%	25%
3.2 Optimización de los parámetros principales en un receptor solar de media temperatura					0%
4.1 Escritura de artículos					0%
4.2 Presentación en congresos y ponencias universitarias					0%

Actividad	Segundo Año				TOTAL
	Porcentaje de avance por mes				
	13-15	16-18	19-21	22-24	
1.1 Búsqueda bibliográfica general	20%				20%
1.2 Desarrollo de modelos de absorción de la radiación en medios semi-transparentes adaptados a las condiciones de receptores solares de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor	20%				20%
1.3 Desarrollo de un modelo acoplado radiación-convección para un receptor solar de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor	20%	20%	20%	20%	80%
1.4 Desarrollo de un algoritmo de optimización utilizando enjambres de partículas (PSO)	25%	25%			50%
2.1 Diseño y construcción de un banco de pruebas para captadores solares de media temperatura que utilizan nanofluidos como absorbedor	25%	25%	25%		75%
2.2 Validación de los modelos en base a la comparación con los resultados experimentales		33%	33%	33%	99%
2.3 Síntesis de nanopartículas, obtención y caracterización de las propiedades térmicas y ópticas de potenciales nanofluidos a ser utilizados en captadores solares de media temperatura	10%	10%	15%	15%	50%
3.1 Identificación de los parámetros principales que gobiernan el comportamiento térmico y óptico de un receptor solar de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor				25%	25%
3.2 Optimización de los parámetros principales en un receptor solar de media temperatura					0%
4.1 Escritura de artículos		33%			33%
4.2 Presentación en congresos y ponencias universitarias			50%		50%



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

Actividad	Tercer Año				TOTAL
	Porcentaje de avance por mes				
	25-27	28-30	31-33	34-36	
1.1 Búsqueda bibliográfica general	20%				20%
1.2 Desarrollo de modelos de absorción de la radiación en medios semi-transparentes adaptados a las condiciones de receptores solares de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor					0%
1.3 Desarrollo de un modelo acoplado radiación-convección para un receptor solar de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor					0%
1.4 Desarrollo de un algoritmo de optimización utilizando enjambres de partículas (PSO)					0%
2.1 Diseño y construcción de un banco de pruebas para captadores solares de media temperatura que utilizan nanofluidos como absorbedor					0%
2.2 Validación de los modelos en base a la comparación con los resultados experimentales					0%
2.3 Síntesis de nanopartículas, obtención y caracterización de las propiedades térmicas y ópticas de potenciales nanofluidos a ser utilizados en captadores solares de media temperatura	10%	10%	5%		25%
3.1 Identificación de los parámetros principales que gobiernan el comportamiento térmico y óptico de un receptor solar de media temperatura que utiliza nanofluidos como absorbedor	25%	25%			50%
3.2 Optimización de los parámetros principales en un receptor solar de media temperatura	25%	25%	25%	25%	100%
4.1 Escritura de artículos	33%			33%	66%
4.2 Presentación en congresos y ponencias universitarias			50%		50%



### Bibliografía

- [1] Ávila-Marín A. (2011). Volumetric receivers in solar thermal power plants with central receiver system technology: A review. *Solar Energy*, 85: 891-910. doi: 10.1016/j.solener.2011.02.002
- [2] Baharoon, D., Rahman, H., Wan Omar, W. and Fadhl, S. (2015). Historical development of concentrating solar power technologies to generate clean electricity efficiently - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41: 996-1027. doi: 10.1016/j.rser.2014.09.008
- [3] Cheng, Z., He, Y., Du, B., Wang, K. and Liang, Q. (2015). Geometric optimization on optical performance of parabolic trough solar collector systems using particle swarm optimization algorithm. *Applied Energy*, 148: 282-293. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.03.079
- [4] Cheng Z., He Y., Wang K., Du B. and Cui F. (2014). A detailed parameter study on the comprehensive characteristics and performance of a parabolic trough solar collector system. *Applied Thermal Engineering*, 63: 278-289. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.11.011
- [5] Guerrero, V. H. (Ed) (2011), *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales*, Quito-Ecuador, ISBN: 978-9978-383-20-9.
- [6] Hunt A. and Miller F. (2010). Small particle heat exchanger receivers for solar thermal power. In: SolarPaces Conference 2010, September 20-24, Perpignan, France.
- [7] Khullar V., Tyagi H., Phelan P., Otanicar T., Singh H. and Taylor R. (2013). Solar energy harvesting using nanofluids-based concentrating solar collector. *Journal of Nanotechnology in Engineering and Medicine*. 3: 1-9. doi: 10.1115/1.4007387
- [8] Loza, D., Guerrero, V.H. and Dabrian, R. (2014). Construction of low cost spin and dip coaters for thin film deposition using open source technology, *Momento* 49 (2), 13-25.
- [9] Ordóñez F., Caliot C., Bataille F. and Lauriat G. (2014). Optimization of the optical particle properties for a high temperature solar particle receiver. *Solar Energy*, 99: 299-311. doi: 10.1016/j.solener.2013.11.014
- [10] Otanicar T., Phelan P., Prasher R, Rosengarten G. and Taylor R. (2010). Nanofluid-based direct absorption solar collector. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 2: 1-13. doi: 10.1063/1.3429737
- [11] de Risi A., Milanese M. and Laforgia D. (2013). Modelling and optimization of transparent parabolic trough collector based on gas-phase nanofluids. *Renewable Energy*, 58: 134-139. doi:10.1016/j.renene.2013.03.014
- [12] Rojas, S., Guerrero, V.H., and Debut, A., (2015). Propiedad Bactericida de Telas de Algodón Impregnadas con Nanopartículas de Plata, *Revista Digital Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, Vol. 10, 7-11.
- [13] Romero M., Buck R. and Pacheco J. (2002). An update on solar central receiver systems, projects and technologies. *Journal of Solar Energy Engineering*. 124: 98-108. doi: 10.1115/1.1467921
- [14] Salas, G.F., Guerrero, V.H. and Rosas, N.M. (2015). Uso de Nanopartículas de ZnO en Tejidos de Algodón para Mejorar sus Propiedades de Protección Ultravioleta, *Revista Digital Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, Vol 10, 16-21.
- [15] Sokhansefat, T., Kasaeian, A. and Kowsary, F. (2014). Heat transfer enhancement in parabolic trough collector tube using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/synthetic oil nanofluid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33: 636-644. doi: 10.1016/j.rser.2014.02.028
- [16] Verma S. and Tiwari A. (2015). Progress of nanofluid application in solar collectors: A review. *Energy Conversion and Management*, 100: 324-346. doi: 10.1016/j.enconman.2015.04.071
- [17] Zadeh, P., Sokhansefat, T., Kasaeian, A., Kowsary, F. and Akbarzadeh, A. (2015). Hybrid optimization algorithm for thermal analysis in a solar parabolic trough collector based on nanofluid. *Energy*, xx: 1-8. doi: 10.1016/j.energy.2015.01.096
- [18] Zhang, H., Baeyens, J., Degève, J. and Cáceres, G. (2013). Concentrated solar power plants: Review and design methodology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22: 466-481. doi: 10.1016/j.rser.2013.01.032

7

### Fechas de inicio y fin

01 de febrero de 2016 / 01 de febrero de 2019



## 8 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.

### 8.1 Infraestructura y equipos

El espacio físico de los laboratorios de Energías Alternativas y Transferencia de Calor están a disposición del proyecto. Así como el laboratorio de Nuevos Materiales dispone de la infraestructura necesaria para realizar la síntesis de las nanopartículas de varios materiales así como para la formulación y dispersión en un fluido base. Además, dispone de los equipos requeridos para la ejecución del proyecto como son equipo de dispersión de luz láser, calorímetro diferencial de barrido (DSC), analizador termogravimétrico (TGA), espectrofotómetro de infrarrojo (FT-IR) y un microscopio electrónico de barrido (MEB).

### 8.2 Breve justificación del equipo requerido

En el presente proyecto se necesitará de la compra de varios equipos para desarrollar tres líneas de trabajo plenamente identificadas y que se enumeran a continuación:

#### **Modelación, Simulación y Optimización del receptor solar de media temperatura**

Para esta parte una infraestructura computacional fuerte es necesaria. Se realizará la compra de varios ordenadores workstations de alta capacidad. Además se gestionará el acceso a clusters externos a los departamentos proponentes para optimizaciones de alta demanda computacional.

#### **Banco de pruebas de captadores solares de media temperatura**

Este banco de pruebas es un pilar fundamental en este estudio ya que nos permitirá realizar la parte experimental del proyecto. Los resultados obtenidos en este estudio permitirán validar los modelos desarrollados y brindar fiabilidad a la optimización. Este banco incluye: estación meteorológica, concentradores solares lineales, estructura mecánica (incluye bombas y dispositivos electromecánicos), sensores de flujos, sensores de temperatura, sistema de adquisición de datos, etc.

#### **Síntesis y caracterización de nanofluidos**

Se aprovechará la amplia experiencia del laboratorio de Nuevos Materiales en esta área. Se identificarán materiales y se sintetizarán nanopartículas que serán utilizadas en la fabricación de nanofluidos para su posterior caracterización. Equipos necesarios para este parte incluyen: equipo de caracterización del coeficiente de absorción y extinción de la radiación, equipo de medición de la conductividad térmica y equipo de medición de la capacidad térmica de materiales

### 8.3 Fondos Adicionales

N/A





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

<b>9 Presupuesto estimado para la ejecución del presente proyecto (anual)</b>					
<b>Lista de items</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Total (USD)</b>	<b>Porcentaje</b>
1. Contratación Servicios Personal por Contrato					
1.1 Ayudantes de investigación (1x36 meses)	5940	5940	5940	17820	9%
1.2 Estudiante de doctorado (1x36 meses)	21000	21000	21000	63000	32%
2. Maquinaria y equipos					
2.1 Banco de pruebas de captadores solares de media temperatura	20000	10000		30000	15%
2.2 Estación metereológica	5000			5000	3%
2.3 Sistema de medición de flujo másico, temperaturas, presión, etc del flujo de fluidos en el banco de pruebas (incluye módulo de almacenamiento de datos)	15000			15000	8%
2.4 Equipos y accesorios para síntesis de materiales y caracterización física, térmica y óptica de los nanofluidos	4000	30000		34000	17%
2.5 Material informático (ordenadores, impresora, software)	17000			17000	9%
3. Reactivos y material de laboratorio	2000	2000	2000	6000	3%
4. Literatura especializada	400	400	380	1180	1%
5. Viajes técnicos y de muestreo	2000	2000	2000	6000	3%
6. Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones		2500	2500	5000	3%
<b>TOTAL</b>	<b>92340</b>	<b>73840</b>	<b>33820</b>	<b>200000</b>	<b>100,00%</b>