

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

DOCTORAL THESIS

---

**“Theoretical Studies of Steam Injection  
in Geothermal and Petroleum  
Reservoirs”**

---

*Author:*

Áyax Hernando Torres  
Victoria

*Advisor:*

Dr. José Martín Godoy  
Alcantar

**Second Advisor:**

Dr. Abraham Medina  
Ovando

*A thesis submitted in fulfillment of the requirements  
for the degree of Doctor of Philosophy  
in the*

Graduate Department at Instituto Mexicano del Petróleo

Thursday 12<sup>th</sup> May, 2016

# Contents

<b>Declaration of Authorship</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>ii</b>
<b>1 Equations that describe the fluid movement and heat transfer in a porous medium</b>	<b>1</b>
1.1 Introduction . . . . .	1
1.2 The Continuity Equation . . . . .	3
1.3 Darcy's Law and the Momentum Equation . . . . .	5
1.3.1 The Overbeck-Boussinesq approximation . . . . .	7
1.4 Energy Equation . . . . .	9
<b>2 Liquid and vapour flow in geothermal and petroleum systems</b>	<b>11</b>
2.1 Introduction . . . . .	11
2.2 Instability of a vaporization front in a porous medium . . . . .	12
2.2.1 Modeling geothermal systems . . . . .	13
2.3 Steam Assisted Gravity Drainage . . . . .	16
<b>3 Theoretical studies of a steam front in a radial porous cell</b>	<b>17</b>
3.1 Introduction . . . . .	17
3.2 Problem Description . . . . .	19
3.3 Experimental Procedure . . . . .	22
3.4 Conclusions . . . . .	25
<b>4 Fluid flow by natural and forced convection</b>	<b>26</b>
4.1 Introduction . . . . .	26
4.2 Experiments . . . . .	29
4.2.1 Experimental setup . . . . .	29
4.2.2 Measurements . . . . .	31
4.3 Experimental results . . . . .	33



**INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO**  
**Dirección de Desarrollo de Talento**

ACTA NÚMERO 01 / 2016

EXAMEN DE DEFENSA PARA OBTENER  
EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS

En el Instituto Mexicano del Petróleo, siendo las 10:00 horas, del día 12 de Mayo del año 2016 se presentó el estudiante:

*Áyax Hernando Torres Victoria*

con el fin de sustentar el examen de defensa de tesis doctoral:

Theoretical studies of steam injection in geothermal and petroleum reservoirs.

ante el jurado integrado por:

Presidente: Dr. Máximo Pliego Díaz

Sinodal: Dr. Erick Emanuel Luna Rojero

Sinodal: Dr. Enrique Serrano Saldaña

Sinodal: Dr. Abraham Medina Ovando

Sinodal: Dr. José Martín Godoy Alcantar



Firma del interesado

Concluida la presentación y la defensa oral, el jurado dictaminó otorgarle una calificación de\* 10 (diez)

El presidente del jurado le hizo saber al sustentante el resultado obtenido.



Dr. Máximo Pliego Díaz

Presidente

Dr. Erick Emanuel

Luna Rojero

Sinodal

Dr. Enrique

Serrano Saldaña

Sinodal

Dr. Abraham

Medina Ovando

Sinodal

Dr. José Martín

Godoy Alcantar

Sinodal

M. en C. Rafael Ramos Palmeros

Director de Desarrollo de Talento



**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

DlyP/113/14

**Constancia de Participación Académica**

**Dr. Abraham Medina Ovando**  
**Instituto Politécnico Nacional (IPN)**

De mi más alta estima.

Por este medio hago constar que usted participa como **Co-director** de tesis de Ayax Hernando Torres Victoria, estudiante de doctorado en el Posgrado del IMP, quien desarrolla el Proyecto titulado “Estudios teóricos de inyección de vapor en yacimientos geotérmicos y petroleros”, dicha actividad la realiza desde el mes de septiembre de 2011 a la fecha.

Reciba nuestro reconocimiento por la labor académica que realiza.

Para los fines legales que al interesado convengan, se extiende la presente el día 24 de marzo de 2014.

  
**Dr. José Manuel Grajales Nishimura**  
**Director de Investigación y Posgrado. IMP**

~~gjc~~



**Programa Académico**

28 de julio de 2016

A quien corresponda:


Por medio de la presente certifico que el Dr. Abraham Medina Ovando participó como Co-Director de Tesis del estudiante de doctorado Áyax Hernando Torres Victoria.

Esta designación se realizó a propuesta del propio estudiante, después de cumplir con lo estipulado en los Lineamientos correspondientes y contar con la aceptación de Dr. Medina Ovando.

Es conveniente mencionar que el estudiante Áyax Hernando Torres Victoria recibió su grado doctoral el 12 de mayo de 2016.

Le agradecemos al Dr. Medina Ovando la labor realizada en estos años y su apoyo al Instituto Mexicano del Petróleo, **sin recibir remuneración alguna por parte de la institución**, para el cumplimiento de su objetivo de formación doctoral de alta calidad y con responsabilidad social.

Atentamente

  
**Lic. Recaredo E. G. Vilches Galán**  
Programa Académico

