



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO ACTA DE EXAMEN DE GRADO DE MAESTRÍA

SIP-15

En la Ciudad de México, D.F., a las 08:00 horas del día 08 del mes de Agosto del año 2014 reunidos en el Aula Magna designado para tal efecto, los C. Profesores de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación: Dr. René Osvaldo Vargas Aguilar, Dr. Alejandro Zacarías Santiago, Dr. Abraham Medina Ovando, Dr. Abel López Villa y el M. en C. Carlos Alejandro Vargas

designados para integrar el Jurado de Examen de Grado de: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN TERMOFLUIDOS

José Francisco Montes Domínguez

de Ingeniería Mecánica y Eléctrica con registro A120145 y considerando que ha cumplido con los requisitos correspondientes, se procedió a efectuar el examen en los términos que establece el Reglamento de Estudios de Posgrado. Después de concluir la disertación y réplica de rigor, el jurado deliberó, habiéndose obtenido el siguiente resultado:

Aprobado

Para constancia se levantó la presente acta a las 09:50 horas del día 08 del mes de Agosto del año 2014, misma que Suscriben los sinodales mencionados.

PRESIDENTE

[Signature]

Dr. René Osvaldo Vargas Aguilar

SECRETARIO

[Signature]

Dr. Alejandro Zacarías Santiago

1er VOCAL

[Signature]

Dr. Abraham Medina Ovando

2º VOCAL

[Signature]

Dr. Abel López Villa

3er VOCAL

[Signature]

M. en C. Carlos Alejandro Vargas

JEFE DE LA SECCIÓN

[Signature]

UNIDAD AZCAPOTZALCO SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Dr. Manuel Farfán Carbajal Romero

TESIS

“Experimentos sobre la dispersión espontánea de partículas sobre superficies líquidas”

Secretaría de Investigación y Posgrado

EL SUSCRITO DIRECTOR DE LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA - UNIDAD AZCAPOTZALCO CERTIFICA que las firmas que anteceden son auténticas y corresponden a las personas cuyos nombres aparecen en esta acta.

Dra. Norma Patricia Muñoz Sevilla

Ing. Ismael Jaidar Monter

UNIDAD AZCAPOTZALCO DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

**Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Unidad Azcapotzalco  
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación**

**“EXPERIMENTOS SOBRE LA DISPERSIÓN  
ESPONTÁNEA DE PARTÍCULAS SOBRE  
SUPERFICIES LÍQUIDAS”**

---

**T E S I S**

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN TERMOFLUIDOS PRESENTA:

**JOSÉ FRANCISCO MONTES DOMÍNGUEZ**

---

**DIRECTOR:**

**DR. ABRAHAM MEDINA OVANDO**

**MÉXICO D. F. AGOSTO 2014**





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D.F. siendo las 14:00 horas del día 30 del mes de Junio del 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de ESIME UA para examinar la tesis titulada:

Experimentos sobre la dispersión espontánea de partículas sobre superficies líquidas

Presentada por el alumno:

Montes  
Apellido paterno

Domínguez  
Apellido materno

José Francisco  
Nombre(s)

Con registro:

A	1	2	0	1	4	5
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de:

Maestro en Ciencias en Termofluidos

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

Dr. Abraham Medina Ovando  
1er Vocal

Dr. René Osvaldo Vargas Aguilar  
Presidente

Dr. Alejandro Zaparias Santiago  
Secretario

Dr. Abel López Villa  
2do Vocal

Dr. Alejandro Vargas  
3er Vocal

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



Manuel Faraón  
Dr. Manuel Faraón  
UNIDAD AZCAPOTZALCO  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

# Índice

	Página
Resumen	i
Abstract	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	v
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xii
<b>Capítulo I Introducción</b>	<b>1</b>
I.1 Justificación .....	1
I.2 Objetivos .....	2
I.3 Hipótesis .....	2
I.4 Motivación .....	3
<b>Capítulo II Antecedentes</b>	<b>4</b>
II.1 Introducción al fracturamiento hidráulico .....	4
II.2 Descripción del método de fracturamiento.....	5
II.2.1 Incremento de la producción debido al frcturamiento hidráulico. ....	6
II.2.2 Nuevas zonas descubiertas .....	7
II.2.3 Reducción del daño .....	7
II.2.4 Cambio del patrón de flujo radial a flujo lineal .....	7
II.3 Apuntalantes y conductividad .....	8
II.3.1 Agentes apuntalantes .....	8
II.3.2 Tipos de apuntalantes .....	9
II.3.3 Conductividad de la fractura .....	11
II.4 Fluidos y aditivos .....	12
II.4.1 Función de los fluidos de fracturamiento .....	12
<b>Capítulo III El problema dispersión espontánea de partículas en las superficies líquidas</b>	
III.1 Introducción .....	13
III.2 Aceleración de una partícula. ....	14
III.3 Las oscilaciones de una partícula. ....	15
III.4 Flujo interfacial y dispersión debido a las oscilaciones.....	16

<b>Capítulo IV</b>	<b>Modelo teórico</b>	<b>18</b>
IV.1	Equilibrio de fuerzas y la ecuación de movimiento de la partícula .....	18
IV.2	Conclusiones del modelo teórico.....	28
<b>Capítulo V</b>	<b>Mediciones de la dispersión espontanea de partículas en un medio con paredes lejanas (radial)</b>	<b>29</b>
V.1	Desarrollo experimental .....	29
V.2	Experimentos de dispersión .....	31
V.3	Gráficas de movimiento y trayectoria del movimiento dispersivo .....	32
V.4	Velocidad y aceleración de la dispersión .....	34
V.5	Partícula en diferente dirección .....	35
V.6	Gráfica de movimiento y trayectoria del movimiento dispersivo.....	35
V.7	Velocidad y aceleración de la partícula .....	36
V.8	Mediciones de la dispersión espontanea de partículas en un medio con paredes cercanas (canal) .....	37
V.9	Experimentos con partículas confinadas a paredes cercanas .....	39
V.10	Gráficas de movimiento y trayectoria del movimiento dispersivo .....	40
V.11	Velocidad y aceleración de la dispersión .....	41
V.12	Experimento con la partícula de diferente dirección .....	42
V.13	Graficas del movimiento dispersivo confinado a paredes cercanas .....	43
V.14	Velocidad y aceleración de la partícula .....	44
V.15	Estudio del frenado de las partículas .....	54
V.16	Asentamiento de partículas .....	55
<b>Capítulo VI</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>46</b>
<b>Anexos</b>		<b>47</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>		<b>55</b>