



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-15

ACTA DE EXAMEN DE GRADO DE MAESTRÍA

En la Ciudad de México, D.F., a las 12:00 horas del día 30 del mes de Julio del año 2015 reunidos en el Aula Magna designado para tal efecto, los C. Profesores de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:
Dr. Guadalupe Juliana Gutiérrez Paredes, Dr. Alejandro Zacarías Santiago, Dr. Abraham Medina Ovando
Dr. Abel López Villa, y el Dr. Gerardo Ruiz Chavarria

designados para integrar el Jurado de Examen de Grado de: Maestría en Ciencias en Termofluidos



Miguel Ángel Ordaz Flores

Con registro B130444 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 13:45 horas del día 30 del mes de Julio del año 2015 misma que suscriben los sinodales mencionados.

PRESIDENTE

SECRETARIO

Dr. Guadalupe Juliana Gutiérrez Paredes

Dr. Alejandro Zacarías Santiago

1er VOCAL

2º VOCAL

Dr. Abraham Medina Ovando

Dr. Abel López Villa

3er VOCAL

Dr. Gerardo Ruiz Chavarria

JEFE DE LA SECCION

Dr. Manuel Faraón Carbajal Romero

TESIS
"Colapso de Columnas Granulares
Cónicas"

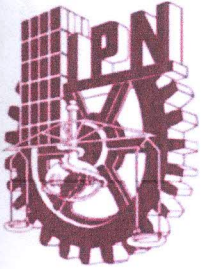
Secretario de Investigación y Posgrado

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.

Dr. José Guadalupe Trujillo Ferrara

Ing. Ismael Jaidar Monter





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

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

**“Colapso de columna granular
cónica”**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN TERMOFLUIDOS
PRESENTA:

ING. ORDAZ FLORES MIGUEL ANGEL

DIRECTORES:

DR. ABRAHAM MEDINA OVANDO.

MÉXICO D. F. 30 DE JULIO 2015.





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 12:00 horas del día 17 del mes de Julio del 2015 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:

"Colapso de Columnas Granulares Cónicas"

Presentada por el alumno:

Ordaz Flores Miguel Ángel
Apellido paterno Apellido materno Nombre(s)

Con registro:

B	1	3	0	4	4	4
---	---	---	---	---	---	---

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(a) de tesis

Dr. Abraham Medina Ovando
Primer Vocal

Dra. Guadalupe Juliana Gutiérrez Paredes
Presidente

Dr. Alejandro Zacarías Santiago
Secretario

Dr. Abel López Villa
Segundo Vocal

Dr. Gerardo Ruíz Chavarría
Tercer Vocal

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Manuel Farfán Carbajal Romero



Índice general

I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Materiales Granulares	15
1.2. Material granular en reposo	16
1.3. Dimensiones de las partículas	17
1.4. Comportamiento	17
1.5. Compactación	17
1.6. Segregación granular	18
1.7. Ángulo de reposo	19
1.8. Factores que afectan el ángulo de reposo	20
1.9. Granulometría	21
1.10. Adhesión y Cohesión	23
1.11. Características de las partículas	25
1.11.1. Propiedades de los sólidos granulares	25
1.11.2. Densidad	25
1.11.3. Densidad absoluta o real (ρ_p)	26
1.11.4. Densidad de bulo	26
1.11.5. Porosidad	26
1.12. Braquistócrona	27

1.12.1. Historia del problema de la braquistócrona	27
1.12.2. Descripción de la braquistócrona	28
1.12.3. Ecuaciones para la solución de la braquistócrona tiempo del movimien- to	29
II. ESTADO DEL ARTE	31
2.1. Modelos encontrados experimentalmente	31
2.2. Modelos numéricos	36
III. EXPERIMENTOS DE COLUMNAS	38
3.1. Planteamiento del problema	38
3.2. Metodología del experimento	39
3.2.1. Lista de equipo.	40
3.3. Experimentación	41
3.4. Procesamiento de imágenes.	46
3.4.1. Distancia Final.	46
3.4.2. Avance respecto al tiempo.	50
3.4.3. Seguimiento de partícula	53
IV. RESULTADOS	56
4.1. Resultados Columna Cónica	56
4.2. Resultados Columna cilíndrica	63
V. ASPECTOS PECULIARES	68

5.1. Rotación	68
5.2. Cavidad en la superficie	71
5.3. Conos de diferentes materiales	72
5.4. Braquistócrona	76
VI. CONCLUSIONES	82
APÉNDICE A	86