

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE EXAMEN DE GRADO DE MAESTRÍA

En la Ciudad de México, a las 09:00 horas del día 04 del mes de Agosto del año 2016 reunidos en el Aula Magna designado para tal efecto, los C. Profesores de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:  
Dr. Luis Armando Flores Herrera, Dr. Abel López Villa, Dr. Juan Manuel Sandoval Pineda, Dr. Abraham Medina Ovando y el M. en I. Usiel Sandino Silva Rivera.

designados para integrar el Jurado de Examen de Grado de: MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANUFACTURA

de: Froylan Alonso Soriano Moranchel

Con registro: B140955 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 con Mención Honorífica**

Para constancia se levantó la presente acta a las 10:27 horas del día 04 del mes de Agosto del año 2016, misma que suscriben los sinodales mencionados.

PRESIDENTE

SECRETARIO

Dr. Luis Armando Flores Herrera

Dr. Abel López Villa

1er VOCAL

2º VOCAL

Dr. Juan Manuel Sandoval Pineda

Dr. Abraham Medina Ovando

3er VOCAL

M. en I. Usiel Sandino Silva Rivera

JEFE DE LA SECCIÓN

Dr. Felipe Hernández Santiago

TESIS

"Análisis Numérico-Experimental del Impacto de una Ojiva de Calibre 7.62 x 51mm en Bloques Estructurales rellenos Arena"

Secretario de Investigación y Posgrado

Dr. José Guadalupe Trujillo Ferrara

Dr. Abraham Medina Ovando



UNIDAD AZCAPOTZALCO  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



EL SUSCRITO DIRECTOR INTERINO 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.





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14-BIS

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 16:00 horas del día 27 del mes de Junio del 20016 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:

Análisis Numérico-Experimental del Impacto de una Ojiva calibre 7.62 mm en Bloques de Arena.

Presentada por el alumno:

Soriano Moranchel Froylan Alonso  
Apellido paterno Apellido materno Nombre(s)

Con registro: 

B	1	4	0	9	5	5
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de:

Maestro en Ingeniería de Manufactura

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

Directores de tesis

Dr. Juan Manuel Sandoval Pineda

Dr. Abraham Median Ovando

Presidente  
  
Dr. Luis Armando Flores Herrera

Secretario  
  
Dr. Abel López Villa

Tercer Vocal  
  
Dr. Usiel Sandino Silva Rivera

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Felipe Hernández Soriano  
UNIDAD AZCAPOTZALCO  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN







INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN  
UNIDAD AZCAPOTZALCO

## ANÁLISIS NUMÉRICO-EXPERIMENTAL DEL IMPACTO DE UNA OJIVA DE CALIBRE 7.62 mm EN BLOQUES DE ARENA

TESIS DE MAESTRÍA  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA DE  
MANUFACTURA

PRESENTA:

ING. FROYLAN ALONSO SORIANO MORANCHEL

DIRIGIDO POR:

DR. JUAN MANUEL SANDOVAL PINEDA

DR. ABRAHAM MEDINA OVANDO



MÉXICO D.F. AGOSTO 2016



<b>Contenido</b>	
- Mecánica de la penetración.....	27
- Penetración en tierras, arcillas, mampostería, hormigón y maderas.....	29
<b>Resumen</b> .....	i
<b>Abstract</b> .....	ii
<b>Objetivos</b> .....	iii
<b>Justificación</b> .....	iv
<b>Índice General</b> .....	v
<b>Índice de Figuras</b> .....	x
<b>Índice de Tablas</b> .....	xvi
<b>Glosario</b> .....	xvii
<b>Simbología</b> .....	xx
<b>Introducción</b> .....	xxiii
<b>CAPÍTULO I.- ESTADO DEL ARTE SOBRE OJIVAS</b>	46
I.1.- Generalidades.....	2
I.2.- Estado del arte.....	2
I.2.1.- En materiales balísticos.....	2
I.2.2.- En armas de asalto.....	11
I.2.3.- En simulaciones de impacto en arenas.....	13
I.2.4.- En sistemas antibalísticos móviles.....	14
I.3.- Planteamiento del problema.....	15
I.4.- Sumario.....	16
I.4.1.- Resultados de la simulación mediante el modelo Explícito.....	
<b>CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO DEL IMPACTO DE OJIVAS SOBRE METAL-METAL</b>	61
II.1.- Generalidades.....	18
II.2.- Balística.....	18
II.3.- Balística terminal.....	20
II.3.1.- Factores que afectan la balística terminal.....	20
II.4.- Ecuaciones de impacto y penetración.....	25
II.4.1.- Capacidad de penetración.....	26
II.4.2.- Ecuaciones de estado.....	26



<b>CAPÍTULO IV.- ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL IMPACTO DEL PROYECTIL</b>	
<b>IV.1.- Generalidades</b> .....	85
<b>IV.2.- Diseño</b> .....	88
IV.2.1.- Metodología concurrente de diseño.....	88
IV.2.2.- Definición e Investigación de la Necesidad.....	89
IV.2.3.- Diseño conceptual.....	90
IV.2.4.- Evaluación del diseño.....	91
IV.2.5.-Produccion de prototipos (Prototipado Rápido).....	96
IV.2.6.- Diseño en detalle.....	97
IV.2.7.- Producción de planos.....	100
<b>IV.3.- Manufactura de prototipos</b> .....	102
IV.3.1.- Manufactura del prototipo del bloque antibalístico en madera contrachapada.....	102
IV.3.1.1.- Definir los cortes necesarios y optimizar los cortes.....	103
IV.3.1.2.- Corte de Piezas.....	104
IV.3.1.3.- Barrenado de pizas.....	104
IV.3.1.4.- Lijado de Piezas.....	104
IV.3.1.5.- Ensamble del bloque.....	104
IV.3.1.6.- Control de calidad.....	104
IV.3.1.7.-Llenado con arena y apisonado.....	104
IV.3.1.8.- Cerrado del bloque.....	105
IV.3.1.9.- Pintura.....	105
IV.3.2.- Diagrama de procesos.....	105
IV.3.3.- Hoja de Proceso.....	106
IV.3.4.- Manufactura del prototipo del bloque antibalístico en fibra de vidrio.....	107
IV.3.4.1.- Modelo y Verificación de este.....	108
IV.3.4.2.- Moldes.....	108
IV.3.4.3.- Generación de piezas por moldeo a mano.....	108
IV.3.4.4.- Ensamble.....	109



IV.3.4.5.- Control de Calidad.....	109
IV.3.4.6.- Llenado con arena y apisonado.....	109
IV.3.4.7.- Cerrado del bloque.....	109
IV.3.4.8.- Pintura.....	109
IV.3.5.- Diagramas de proceso.....	110
IV.3.6.- Hoja de procesos.....	111
IV.3.7.- Resultados Obtenidos.....	112
<b>IV.4.- Análisis Experimental del impacto del proyectil.....</b>	<b>113</b>
IV.4.1.- Investigación de normas balísticas.....	113
IV.4.2.- Elaboración de probetas.....	114
IV.4.3.- Selección del banco de pruebas.....	115
IV.4.4.- Mediciones realizadas y selección de aparatos de medición.....	115
IV.4.5.- Obtención de datos.....	116
IV.4.5.1.- Videos de alta velocidad.....	116
IV.4.5.2.- Rayos X.....	117
IV.4.5.3.- Perforaciones dejadas en las caras de impacto.....	119
IV.4.6.- Tabla de resultados experimentales.....	120
<b>IV.5 Sumario.....</b>	<b>122</b>
 <b>CAPÍTULO V.-ANÁLISIS COMPARATIVO</b>	
V.1.- Generalidades.....	124
V.2.- Comparación de los resultados numérico de Explicit Dynamics y Autodyn.....	125
V.3.- Comparación de los resultados numéricos de Explicit Dynamics y resultados experimentales en fibra de vidrio.....	128
V.4.- Comparación de los resultados numérico con Autodyn y los resultados experimentales en fibra de vidrio.....	129
V.5.- Comparación de los resultados numéricos con Autodyn y los resultados experimentales en Maderas contrachapada.....	130
V.6.- Tablas comparativa de Datos.....	131
V.7.- Sumario.....	135