

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN  
Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Sección de Computación  
**Protocolo de Tesis**

Tesista: Claudia Magdalena Ramírez Trejo  
Director de tesis: Luis Gerardo de la Fraga

**Resumen**

El propósito de esta tesis es crear una herramienta de software basada en QT y OpenGL para animar modelos deformables, la cual permitirá la interacción con dichos modelos mediante dispositivos electrónicos y mecánicos tales como un guante para realidad virtual y gafas estereoscópicas.

Se estudiarán los modelos deformables para cuerpos elásticos e inelásticos, sus características y comportamiento, así como los algoritmos de detección de colisiones y la respuesta a éstas.

La animación de modelos deformables será creada con base en mallas de simplejos. La parte del modelo donde el usuario interactúa con él se detecta mediante un algoritmo de colisión, por lo tanto se realizará un motor de detección de colisiones.

## **1. Datos Generales**

### **1.1. Título de proyecto**

Animación de modelos deformables

### **1.2. Datos del alumno**

Nombre:	Claudia Magdalena Ramírez Trejo
Matrícula:	031121021
Dirección:	Calle Física 1 Edo. de Méx.
Teléfono (casa):	5555 5555
Dirección electrónica:	cramirez@computacion.cs.cinvestav.mx

### 1.3. Institución huésped

Nombre: CINVESTAV-IPN  
Departamento: Depto. de Ingeniería Eléctrica,  
Sección de Computación.  
Dirección: Av. Instituto Politécnico Nacional No. 2508,  
Col. San Pedro Zacatenco,  
México, D.F. 07300.  
Teléfono: (52) (55) 57473759

### 1.4. Beca de tesis

Institución otorgante: CONACYT  
Tipo de beca: Maestría  
Vigencia: Agosto 2003 - Julio 2004

### 1.5. Datos del asesor

Nombre: Dr. Luis Gerardo de la Fraga  
Dirección: Av. IPN 2508. Col. San Pedro Zacatenco  
Teléfono (oficina): (+52 55) 5061-3755  
Institución: CINVESTAV-IPN  
Departamento adscripción: Ing. Eléctrica, Sección de Computación  
Grado académico: Doctor en Ingeniería Informática

## 2. Descripción del proyecto

### 2.1. Antecedentes

Un modelo o superficie deformable está compuesto tanto de la representación de superficie del objeto como de las leyes de evolución que permiten la deformación de éste. La superficie tiene seis grados de libertad: tres para la translación y tres para la rotación [1].

Como se menciona en [2], los modelos deformables se pueden clasificar por la naturaleza de su representación en dos categorías: discretos y continuos.

*Modelos continuos.* Las representaciones continuas deben ser discretizadas para su implementación computacional pero permiten el cálculo de cantidades tales como normales o curvaturas en casi cualquier parte de la superficie. Se clasifican por la ecuación por medio de la cual son representados, esta ecuación puede ser explícita o implícita.

Representación explícita

1. Funciones de soporte polinomiales finitas.
2. Superquadrics representados por el vector de parámetros de superficie.
3. Descomposición modal.

Representación implícita

1. Superquadrics cuya función representa una superficie cerrada.
2. Hiperquadrics.

*Modelos discretos.* En las representaciones discretas la geometría de la superficie es solamente conocida en un conjunto finito de puntos y se basa naturalmente en el problema de caracterización de las representaciones continuas. Se clasifican por su naturaleza en dos tipos: mallas discretas y sistemas de partículas.

Las mallas discretas pueden ser:

1. Contornos discretos.
2. Triangulaciones.
3. Modelo elástico de masa.
4. Mallas de simplejos.

## 2.2. Motivación

Debido a que los modelos deformables son una clase de primitivas para modelado de curvas, superficies y sólidos generales que obedecen a la dinámica de cuerpos no rígidos, éstos son capaces de demostrar una gran variedad de comportamientos naturales incluyendo elasticidad, viscoelasticidad, plasticidad, fractura, transferencia de calor conductiva, termoplasticidad, derretimiento y comportamiento tipo fluido.

La formulación de estos modelos puede aplicarse, con algunas restricciones, para modelar pelotas sólidas sobre esponjas, modelos de telas como banderas en el viento, alfombras voladoras puestas sobre objetos, ropa, telas que se rasgan al jalarlas. También se han utilizado en el campo médico para modelado y animación humana y facial [3].

En este trabajo se realizará la animación de modelos deformables para crear una forma más de visualizar objetos tridimensionales y para estudiar en sí mismo los algoritmos necesarios para poder realizar una animación.

## 3. Planteamiento del problema

Cuando se desea animar el comportamiento de modelos deformables se presentan varios problemas. El primero consiste en establecer la forma de representación de los objetos (superquadrics, mallas de simplejos, etc.) puesto que ésta determina los algoritmos y ecuaciones que se emplean en la manipulación de ellos. En segundo lugar debe especificarse la manera en que se interactuará con los modelos, así como los tipos de comportamiento que serán simulados (elásticos, inelásticos, plásticos, etc.). Finalmente, de acuerdo a lo planteado, deben estudiarse y discretizarse las ecuaciones de las leyes físicas con las que se calculará la respuesta del sistema.

## Representación del objeto deformable

La idea principal es representar un objeto deformable a partir de partículas conectadas entre sí por medio de resortes formando una malla de polígonos (malla de simplejos). Las partículas tienen como atributos principales masa, posición y velocidad así como propiedades de cuerpos rígidos, de esta forma sólo una fuerza de resorte de sus vecinos directos o una fuerza externa afecta la velocidad y aceleración del punto. Cada partícula tendrá sólo tres grados de libertad, es decir que podrá moverse en el espacio pero no rotar. Se asumirá que los modelos no se rompen y no cambian su elasticidad a través del tiempo [1].

## Interacción

Los objetos deformables podrán manipularse a través de un artefacto virtual que será considerado como un objeto totalmente rígido, con el cual se aplicarán fuerzas externas al modelo y el sistema detectará la colisión dando una respuesta a ésta de acuerdo a las propiedades del objeto como se describe a continuación:

*Modelos elásticos.* Estos modelos mantienen una velocidad y forma constante siempre y cuando una fuerza externa no sea aplicada, en caso contrario éste se deforma hasta encontrar un estado de reposo donde su energía interna se balancea con la fuerza externa, si la influencia de la fuerza se detiene el objeto regresa a su forma inicial [4].

*Modelos inelásticos.* A diferencia de los modelos elásticos que de inmediato recobran su forma natural no deformada al quitar las fuerzas externas, los modelos inelásticos se deforman permanentemente por lo que son usados comúnmente para simular los comportamientos mecánicos de sólidos altamente polimerizados como la plastilina.

## Repuesta del sistema

Como ya se había mencionado antes, las fuerzas principales que mueven y deforman el objeto son las fuerzas internas de los resortes de sus bordes, las cuales resultan de la fuerza externa aplicada al modelo. La fuerza interna sobre cada vértice es calculada por la siguiente ecuación:

$$F_{\text{int}} = \sum_{i=0}^N -k\Delta x \quad (1)$$

donde  $k$  es la constante de elasticidad del objeto,  $\Delta x$  es el desplazamiento de longitud de los bordes,  $n$  es el número de vecinos directos del vértice.

Al trabajar con resortes debemos considerar la fuerza de amortiguamiento de las aristas, dado que los resortes no oscilan siempre pues pierden su energía interna. Por este motivo deben de incluirse en la ecuación (1) los mecanismos necesarios de simulación para la pérdida de energía quedando ésta como sigue:

$$F_{\text{int}} = \sum_{i=0}^N -k\Delta x - cv \quad (2)$$

donde  $c$  es una constante de amortiguamiento y  $v$  es la velocidad del vértice.

La deformación se cuantifica usando las ecuaciones de movimiento de Newton que balancean las fuerzas elásticas resultantes contra fuerzas inerciales debidas a la distribución de masas del modelo, así como las fuerzas de amortiguamiento, de fricción y fuerzas aplicadas externamente sobre la superficie de colisión [4]. Entonces, el desplazamiento de cada vértice es calculado usando las leyes de Newton y las fórmulas básicas de movimiento de un cuerpo:

$$\begin{aligned}x &= x_0 + vt + at^2 \\v &= v_0 + at \\F_T &= ma \\F_T &= F_{\text{ext}} + F_{\text{int}}\end{aligned}$$

donde  $F_{\text{ext}}$  es la fuerza simulada aplicada al modelo.

## 4. Objetivos generales y específicos del proyecto

### General

Representar modelos deformables elásticos e inelásticos a partir de mallas de simplejos, así como desarrollar una interfaz gráfica que permita al usuario interactuar con ellos aplicando fuerzas externas simuladas por medio de artefactos interactivos, y mostrar una animación de la respuesta a dicha manipulación con lo que será posible apreciar algunas características físicas del objeto.

### Particulares

1. Estudio de las estructuras de datos para representar objetos deformables por medio de mallas de simplejos.
2. Modelar la aplicación de fuerzas en mallas de simplejos.
3. Detectar la colisión entre dos objetos y dar respuesta a ésta.
4. Simulación de colisión de una esfera contra la pared.
5. Se implementará una interfaz con la cual el usuario será capaz de interactuar con los modelos deformables elásticos e inelásticos.
6. Incorporar a la herramienta visión estereoscópica.

## 5. Metodología

1. Investigación de los trabajos realizados sobre modelos deformables.
2. Implementación de un modelo físico de una esfera basado en la aproximación del comportamiento elástico para computar la respuesta a la colisión, para ello se tiene que realizar:
  - a) Análisis de los modelos deformables, sus propiedades, características y comportamiento.
  - b) Discretización de las ecuaciones de Lagrange y de Newton.
3. Estudio de los algoritmos para detección de colisiones.

4. Calcular la respuesta a la colisión de acuerdo a la superficie de contacto considerando las fuerzas de amortiguamiento y de fricción, así como las fuerzas externas aplicadas, con esto se pretende agregar el comportamiento plástico al objeto que se esté visualizando.
5. Interfaz gráfica para interactuar con modelos deformables elásticos
6. Incorporar a la interfaz la interacción con modelos deformables inelásticos.
7. Análisis e implementación de los métodos más adecuados para visualizar los resultados dando efectos de luz, sombra, etc. a la simulación.
8. Incorporar visión estereoscópica.

## 6. Cronograma de actividades

Actividad	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Investigación	*											
Elaboración del protocolo	*	*										
1er. obj. particular y la simulación de colisión de una esfera contra la pared		*	*	*	*							
Realización de objetos plásticos						*	*	*				
Interfaz para modelos deformables elásticos									*			
Interfaz para modelos deformables inelásticos										*		
Efectos de Visualización											*	
Visión estereoscópica												*
Escritura de la tesis			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

## 7. Infraestructura

Para el desarrollo de ésta tesis se requiere de un equipo de cómputo que se ajuste a los requerimientos de OpenGL y QT, una distribución reciente de Linux, así como de un guante de realidad virtual y gafas de visión estereoscópica activa.

## 8. Estado del arte

Los artículos [5] y [6] realizados por Terzopoulos han sido la base de diversos trabajos que se han desarrollado a lo largo de estos últimos años sobre modelos deformables. Entre algunos de los más recientes se encuentra un motor de 3D que muestra la interacción con cuerpos no rígidos en el cuál fueron estudiados modelos existentes de objetos elásticos y deformables, así como algoritmos de detección de colisión. El modelo de un objeto es creado como un conjunto de puntos conectados por resortes con un factor de elasticidad  $k$ , la colisión de los objetos es determinada usando un motor de detección de colisión. Después de que ocurre la colisión la respuesta es calculada usando leyes físicas [1]. También se puede mencionar el artículo donde se presenta un modelo físico de los tejidos faciales de la epidermis, tejidos grasos subcutáneos y el esqueleto facial. El modelo de tejidos es representado por una malla de unidades de resorte no lineal con diversas propiedades visco-elásticas. Los vectores de fuerza muscular están contruidos por fibras rígidas sujetadas al hueso combinados dentro de la capa de la dermis. Se emplea una técnica de integración numérica para calcular el desplazamiento dinámico de los nodos de la malla bajo la influencia de contracciones musculares internas [3].

Otro proyecto de suma importancia es la tesis [7] en la que fue implementada la modelización de macromoléculas biológicas a baja resolución que son formas geométricas tridimensionales generales, usando mallas de simplejos. En este trabajo se usan modelos deformables basados en mallas de simplejos para generar varios modelos iniciales de entrada al algoritmo iterativo de reconstrucción. El sistema determina la fuerza requerida para lograr la deformación del modelo considerando la fuerza interna y el factor de elasticidad de la malla.

En el artículo [8] se presenta una aproximación general del diseño y animación de modelos deformables complejos con superficies implícitas. Las superficies implícitas son introducidas como una capa extra cubierta de cualquier estructura que se mueve y deforma a través del tiempo. Ofreciendo una definición compacta de una superficie lisa alrededor de un objeto, proveen un mecanismo de detección de colisión. La capa se deforma de acuerdo al contacto generado entre los objetos que chocan. Un modelo físico simple basado en la aproximación del comportamiento elástico es diseñado para computar la respuesta a la colisión.

En cuanto a los algoritmos desarrollados para computar la fuerza de colisión entre objetos sólidos uno de los más recientes fue desarrollado por Braff [9]. Este algoritmo toma en cuenta la fuerza de fricción y permite diferentes puntos de contacto con fricción dinámica y estática, y para ambos sistemas con o sin fricción es considerablemente rápido, simple y más confiable que investigaciones previas a este problema.

## 9. Contribuciones y resultados esperados

Interfaz gráfica con visión estereoscópica que permita y visualice la interacción con modelos deformables elásticos e inelásticos.

## Referencias

- [1] L. Kharevych and R.M. Khan. 3d physics engine for elastic and deformable bodies. Universidad de Maryland College Park, December 2002.
- [2] J. Montagnat, H. Delingette, N. Scapel, and N. Ayache. Representation, shape, topology and evolution of deformable surfaces application to 3d medical image segmentation. Technical Report RR-3954, INRIA, 2000.
- [3] Demetri Terzopoulos and Keith Waters. A physical model of facial tissue and muscle articulation. pages 77–82, 1990.
- [4] Modelos deformables y métodos numéricos. <http://www.cc.gatech.edu/dvfx/readings.html>.
- [5] Demetri Terzopoulos, John Platt, Alan Barr, and Kurt Fleischer. Elastically deformable models. *ACM*, 21(4):205–214, 1987.
- [6] Demetri Terzopoulos and Fleischer K. Deformable models. *The Visual Computer*, 4(6):306–331, 1988.
- [7] Jorge Eduardo Ramírez. Modelos deformables para caracterizar macromoléculas biológicas. Tesis de maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Departamento de Computación, Junio 2004.
- [8] Marie Paule, Cani Gascuel, and Mathieu Desbrun. Animation of deformable models using implicit surfaces, March 1997.
- [9] David Braff. Fast contact force computation for nonpenetrating rigid bodies. Robotic Insitute Carnegie Mellon University Pittsburgh, July 1994.