

# Interfaz háptica: una herramienta en la enseñanza de la ingeniería a distancia

Diego Alonso Ramos Acosta

En este artículo se hace una introducción a las interfaces hápticas, la enseñanza de la ingeniería a distancia y las ventajas que se pueden obtener con el uso en el desarrollo de laboratorios a distancia para asignaturas prácticas en ingeniería. A través de algunos ejemplos realizados por el autor se muestra cómo la fuerza de empuje, la ventaja mecánica o la frecuencia de una onda pueden experimentarse en forma virtual. Este tema abre las puertas al desarrollo de laboratorios, ya que el uso de interfaces hápticas permite experimentar, no sólo sensaciones visuales y sonoras, sino también táctiles, logrando en algunos casos sentir experiencias similares a las de un laboratorio real.

Ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, ingeniero mecánico de la Universidad Nacional de Colombia, magíster en ingeniería de sistemas de la Universidad Nacional de Colombia, docente de planta de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería. [dramos@escuelaing.edu.co](mailto:dramos@escuelaing.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

Dentro del paradigma de la educación virtual aplicada a la ingeniería, surgen algunos interrogantes: ¿cómo desarrollar un laboratorio a distancia que tenga el mismo impacto que un laboratorio real? ¿Cómo lograr que un estudiante realice un laboratorio a distancia y pueda repetirlo sin inconvenientes en un laboratorio real?

## 1. INTERFAZ HÁPTICA

### 1.1 Háptica

Es la ciencia que se ocupa de llevar las sensaciones táctiles y kinestésicas a la interacción con aplicaciones informáticas. Etimológicamente, la palabra procede del griego *haptikos*, que significa “tacto” [1].

### 1.2 Percepción háptica

Da a una persona la capacidad de manipular objetos, formar una imagen mental y, posteriormente, reconocerlos. Además, le permite relacionarse con el mundo exterior y orientar su cuerpo en su función motriz.

La percepción háptica se relaciona con la recepción y procesamiento

de los estímulos táctiles y kinestésicos. De acuerdo con estos estímulos, la percepción es de dos tipos: percepción kinestésica y percepción táctil [2].

#### 1.2.1 Percepción táctil

En este tipo de percepción la información se adquiere exclusivamente por medio de la piel o sentido cutáneo, permite percibir algunas características de los objetos, mas no tener una

percepción de la forma del objeto. En ésta se presentan dos tipos de procesos:

- *Proceso táctil estático*. En este proceso, las sensaciones se pueden percibir sin necesidad de movimiento; por

ejemplo, se obtienen sensaciones como la temperatura, la humedad, etc.

- *Proceso táctil dinámico*. En este proceso, las sensaciones se perciben gracias al movimiento; por ejemplo, se obtienen sensaciones como textura, relieve, viscosidad, etc. [3].

#### 1.2.2 Percepción kinestésica

En este tipo de percepción la información se adquiere a través de los

Una interfaz háptica es un dispositivo que le permite al usuario tocar, sentir y manipular objetos simulados en ambientes virtuales o sistemas teleoperados.

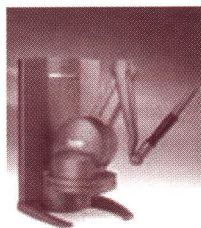
movimientos corporales, la tensión muscular y la posición de los diferentes segmentos corporales. Se pueden percibir sensaciones tales como el contorno, la forma y el peso de un objeto. Estas sensaciones ayudan a dirigir los movimientos y permiten percibir la forma de los objetos [3].

### 1.3 Qué es una interfaz háptica

Es un dispositivo que le permite al usuario tocar, sentir y manipular objetos simulados en ambientes virtuales o sistemas teleoperados, gracias a la retroalimentación enviada por el computador al usuario en forma de sensaciones táctiles y kinestésicas. Son dispositivos de entrada-salida, que toman manipulaciones físicas del usuario (entrada) y proveen sensaciones táctiles reales coordinadas con los eventos de la pantalla (salida). Las interfaces hápticas se clasifican, según las sensaciones que se pueden experimentar en ellas, en kinestésicas y táctiles [2].

#### 1.3.1 Interfaz háptica kinestésica

En este grupo se encuentran la mayor parte de dispositivos comerciales con realimentación de fuerza, los cuales interactúan con músculos y tendones para dar sensaciones como peso y contorno. Se clasifican en fi-



Fuente: [www.sensable.com/products/](http://www.sensable.com/products/).

Figura 1. Phantom.

jos y corporales, de acuerdo con la forma de fijación

#### Fijos (*Ground-based devices*)

En estas interfaces, el movimiento en el mundo virtual está relacionado con el movimiento del dispositivo y no con el movimiento corporal; dentro de este grupo se encuentran cantidad de dispositivos de escritorio con realimentación de fuerza como *joysticks*, *mouses*, pequeños robots y simuladores quirúrgicos. En la figura 1 se muestra un dispositivo fijo comercial.

#### Corporales (*Body-based devices*)

Estas interfaces se acoplan al cuerpo de manera que un movimiento corporal describe el mismo movimiento en el mundo virtual. Se pueden clasificar, de acuerdo con su forma de manipulación, en flexibles y rígidos.

*Flexibles.* Permiten al usuario mover su cuerpo con libertad, como

normalmente lo hace. Un ejemplo es el *CyberGlove* (figura 2).

*Rígidos.* Son una serie de elementos acoplados al cuerpo y unidos mediante articulaciones. Un ejemplo es el *Exoskeleton* (esqueleto externo), como el de la figura 3. Para lograr un desempeño adecuado se requiere un diseño complejo y sólo unos pocos están disponibles comercialmente [4].

#### 1.3.2 Interfaz háptica táctil

Son dispositivos que dan al usuario la sensación de calor, presión y textura, gracias a la interacción con los nervios terminales en la piel. Debido a la gran densidad de nervios terminales presentes en la piel, se requieren dispositivos con una gran cantidad de transmisores para obtener una sensación adecuada. Un ejemplo de éstos son los *tactile displays* (exhibidores táctiles), como los de la figura 4 [5].

### 1.4 Cómo funciona una interfaz háptica

Los movimientos del usuario o del dispositivo son convertidos en una señal eléctrica mediante un sensor de posición (generalmente *encoder*<sup>1</sup>) y

1. Encoder: es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos eléctricos digitales.

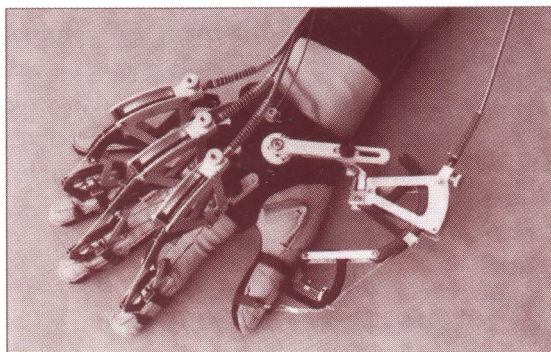
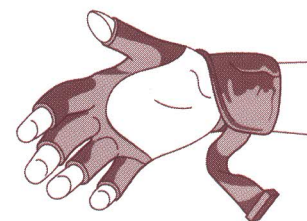
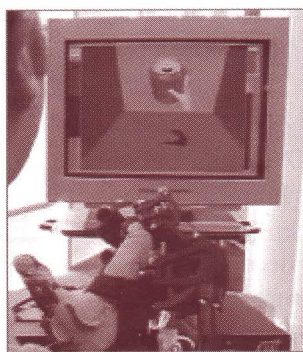


Figura 2. CyberGlove.



Fuente: [www.immersion.com/3d/products/cyber\\_glove.php](http://www.immersion.com/3d/products/cyber_glove.php).



Fuente <http://fourier.vuse.vanderbilt.edu/cim/projects/exoskeleton.htm>[1].

**Figura 3.** Exoskeleton.

son transmitidos al computador, el cual procesa la información para determinar la distancia que se ha desplazado; esta distancia se envía a la aplicación para calcular la nueva posición; si en la nueva posición se requiere una reacción, la aplicación da la orden al computador para que éste envíe la información necesaria a la interfaz háptica, ésta la procesa y mediante actuadores (motores, termoeléctricos, etc.) produce en el usuario la sensación deseada.

## 1.5 Características de diseño de las interfaces hápticas

A continuación se indican algunas características importantes al momento de diseñar interfaces hápticas.

### 1.5.1 Comunicación bidireccional

Las interfaces hápticas deben tener la capacidad para enviar datos al computador (generalmente posición) y recibir datos desde éste (generalmente reacciones hápticas).

### 1.5.2 Ancho de banda

La comunicación requiere un ancho de banda mayor que los dispositivos de entrada-salida normales (*mouse*, pantallas, etc.), que necesitan una velocidad de actuali-

zación del orden de los 300 Hz, que resulta alta comparada con la velocidad de actualización de una pantalla de 75 Hz. La velocidad de comunicación de la interfaz debe ser alta para lograr buenas sensaciones táctiles, de manera que el usuario no perciba el retardo que transcurre desde el momento en que se genera el movimiento hasta que percibe la sensación.

### 1.5.3 Velocidad de reacción

Las reacciones que experimenta el usuario deben cambiar a la misma velocidad con que el usuario se desplace en la pantalla. Por ejemplo, si el usuario visualiza un cuerpo caliente en la pantalla, debe estar sintiendo la temperatura a través de la interfaz, y si cambia a un cuerpo frío, deberá cambiar instantáneamente.

### 1.5.4 Controlador dedicado

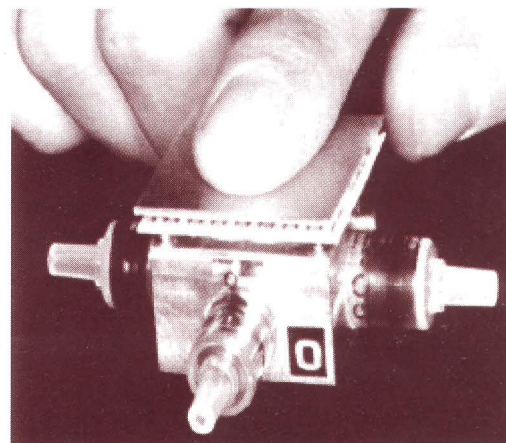
Un dispositivo háptico requiere un controlador (procesador) dedicado con el fin de poder responder a los cambios del usuario y comunicarse a alta velocidad. Es decir, que el control del dispositivo no puede residir en el computador.

## 2. ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA A DISTANCIA

Actualmente, las prácticas de laboratorio a distancia se pueden realizar a través de laboratorios virtuales o de laboratorios remotos.

### 2.1 Laboratorios virtuales

Son ambientes simulados por computador que cuentan con materiales, instrumentos y equipos como en un la-



Fuente: [www.hokkaido.edu.ja](http://www.hokkaido.edu.ja) Hokkaido University.

**Figura 4.** Tactile display.

laboratorio real, los cuales pueden ser manipulados por el estudiante mediante el *mouse* o el teclado. La realización de prácticas de laboratorio a través de simulaciones puede hacer que el estudiante apruebe los requisitos del curso desde el punto de vista académico; sin embargo, éste no tendría la capacidad de repetir el experimento en un laboratorio real [6].

## 2.2 Laboratorios remotos

Son interfaces de *software* que permiten a los estudiantes manipular remotamente experimentos de laboratorio reales. Los laboratorios cuentan con materiales, instrumentos y equipos reales, los cuales pueden ser manipulados por el estudiante en forma remota. Éstos tienen una gran ventaja sobre los laboratorios virtuales y es que tienen un componente de realidad importante en el proceso de aprendizaje, ya que el estudiante se enfrenta a los mismos inconvenientes del experimento real [7].

## 3. USO DE LAS INTERFACES HÁPTICAS EN LA ENSEÑANZA A DISTANCIA

### 3.1 Antecedentes

Batter y Brooks, investigadores de la Universidad de Carolina del Norte en el área de la háptica, hicieron un experimento para probar que las interfaces hápticas realmente ayudan al usuario en el proceso de aprendizaje. Ellos realizaron un experimento con dos cursos virtuales de física eléctrica. A un curso se le permitió

usar una interfaz háptica con realimentación de fuerza, en el ejercicio de laboratorio, mientras que al otro curso no. El grupo que usó la interfaz háptica con realimentación de fuerza tuvo un mejor desempeño en su trabajo de laboratorio [7].

### 3.2 Justificación de las interfaces hápticas en la enseñanza

Las interfaces para computador obligan al usuario, por lo general, a obrar con señales puramente visuales; intentar digitar con el *mouse* un número en el teclado de calculadora de Windows sin ver la pantalla es muy complicado, mientras que en el mundo real es posible, gracias a la realimentación háptica, marcar el teclado del teléfono o tocar la guitarra sin mirar.

### 3.3 Aumento de la información

El uso de interfaces hápticas aumenta la cantidad de información que es procesada por el cerebro, puesto que añade un canal de entrada independiente; este aumento en la información reduce el error y el tiempo requerido para ejecutar una acción de movimiento [7].

M. Haley, presidente de la Exposición de Tecnologías Emergentes, e investigador de Walt Disney Imagineering, afirma que “La háptica se basa en la forma en que el cerebro procesa la información” y que “Si la información se basa en sensaciones físicas, las reacciones son más veloces” [8].

### 3.3 El aprendizaje por la experiencia

El aprendizaje por la experiencia se le atribuye a Moisan (1992) como un nuevo paradigma dentro del campo de la formación. Pero ha sido Kolb (1984) quien ha estructurado con más detalle el concepto del proceso de aprendizaje por la experiencia. Este autor define el aprendizaje como “el proceso mediante el cual se crea conocimiento a través de la transformación de la experiencia”. Para este autor el aprendizaje es un proceso continuo fundamentado en la experiencia, que requiere la resolución de conflictos e implica la transacción entre las personas y el ambiente, que se simboliza a través del término experiencia. Quizás el aporte más característico de Kolb es entender el proceso de aprendizaje como un ciclo que implica cuatro modos de aprendizaje:

1. Experiencia Concreta (CE) - Aprender sintiendo.
2. Observación Reflexiva (RO) - Aprender viendo y escuchando.
3. Conceptualización Abstracta (AC) - Aprender pensando.
4. Experimentación Activa (AE) - Aprender haciendo.

## 4. DISEÑO DE UN LABORATORIO A DISTANCIA USANDO UNA INTERFAZ HÁPTICA

A continuación se describen los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta al momento de diseñar un laboratorio a distancia usando una interfaz háptica.

### 4.1 Selección de la interfaz háptica

Las características principales que se deben tener en cuenta al momento de seleccionar la interfaz son:

La realización de prácticas de laboratorio a través de simulaciones puede hacer que el estudiante apruebe los requisitos del curso desde el punto de vista académico.

**Tabla 1**  
Costo de algunos dispositivos comerciales

Fabricante	Dispositivo	Costo	Clase
Microsoft	Sidewinder	US\$50	Joystick 2DOF
Immersion	Impulse Stick	US\$100-US\$1000	Joystick 2DOF
	I-Force	US\$100-US\$1000	Joystick 2DOF
Immersion	Impulse Engine 3000	US\$1.000-10.000	Joystick 3DOF
Cybernet	PER-Force	US\$1.000-10.000	Joystick 3DOF
Cybernet	PER-Force Handcontroller	US\$1.000-10.000	Joystick 6DOF
Immersion	FeelIt mouse	US\$100-US\$1.000	Mouse 2DOF GamePad
SensAble Technologies	Phantom	US\$13.500-US\$61.000	Basado en lápiz 3-6DOF
Immersion	Laparoscopic Impulse Engine	US\$9.000	Simuladores quirúrgicos 3DOF

Fuente: Biggs, *op. cit.*, 1999.

### 4.1.1 Propósito

Debe ser de propósito general, ya que las interfaces de propósito específico son muy restringidas y limitan el desarrollo de las aplicaciones.

### 4.1.2 Comercial

Se debe conseguir fácilmente en el mercado y a un bajo costo, por lo que se recomiendan las interfaces desarrolladas para propósitos de juego. En la tabla 1 se muestra el costo de algunos dispositivos comerciales.

### 4.1.3 Efectos incluidos

Un efecto es una reacción de realimentación del dispositivo, comúnmente de fuerza o temperatura. Con el fin de explotar al máximo el sentido del tacto, es necesario seleccionar un dispositivo que posea la mayor cantidad de efectos. En la tabla 2 se comparan los efectos incluidos con los dispositivos comerciales de propósito general y bajo costo [9].







### 4.1.4 Dirección de los efectos

Es importante, además de los efectos incluidos, la dirección en que éstos pueden actuar. Por ejemplo, en un timón de dirección (*steering wheel*) los efectos están limitados a un solo eje, ya que éstos ejercen fuerzas que se oponen al movimiento de izquierda a derecha descrito por el timón; en un *Joystick* los efectos están limitados a movimientos XY atados a su base, es decir, en un solo punto; no reproduce efectos que requieran exploración del espacio bidimensionales, tales como texturas y contornos. En un *mouse* los efectos pueden ejercer fuerzas laterales, obteniendo efectos tales como impulso y succión, gravedad o resistencia al movimiento.

### 4.1.5 Plataforma de desarrollo

La plataforma de desarrollo para la interfaz háptica debe permitir elaborar aplicaciones para Internet (*applets* de Java, HTML, flash, etc.), para así

**Tabla 1**  
Comparación de los dispositivos comerciales de propósito general y bajo costo.

Nombre del tipo de dispositivo	Tactile Feedback Mouse or Trackball	Joystick	Steering Wheel	Full Force Feedback Gamepad	Full Force Feedback Mouse	Rumble Feedback Gamepad
						
Periódico	X	X	X	X	X	X
Textura	X				X	
Cercado	X				X	
Elipse	X				X	
Resorte		X	X	X	X	
Malla					X	
Constante		X	X	X	X	
Rampa		X	X	X	X	
Amortiguador		X	X	X	X	
Fricción		X	X	X	X	
Inercia		X	X	X	X	

Fuente: [www.immersion.com](http://www.immersion.com).

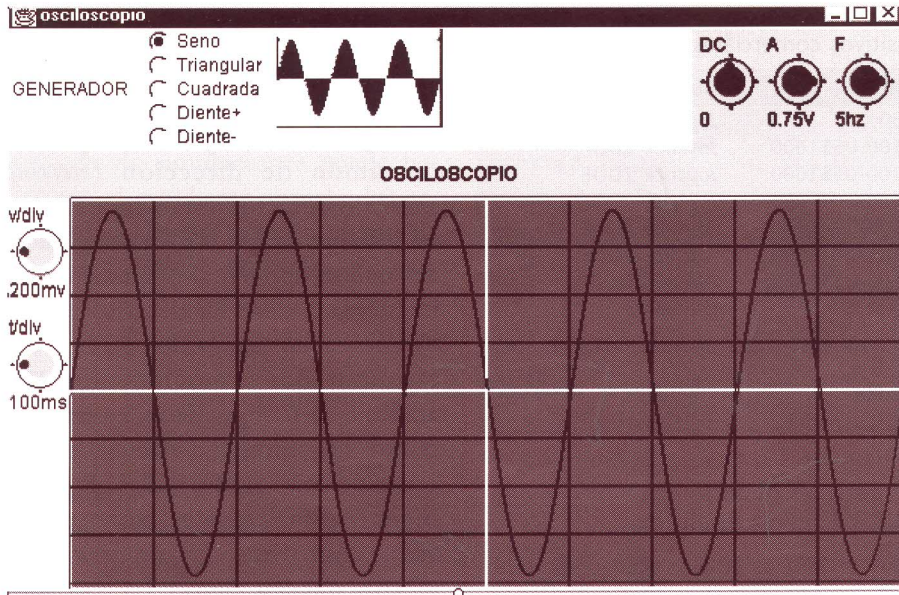


Figura 5. Interfaz gráfica Osciloscopio.

obtener una amplia cobertura del laboratorio.

#### 4.2 Desarrollo de aplicaciones

Además de seleccionar adecuadamente la interfaz háptica, para que el laboratorio tenga éxito es importante hacer un uso adecuado de la interfaz háptica; a continuación se citan algunas recomendaciones:

- Las sensaciones simples son más efectivas, ya que sensaciones complejas pueden desviar la atención del estudiante.

- La combinación de la realimentación háptica, visual y auditiva en el tiempo y en el espacio logra excelentes resultados, ya que estimula más de un sentido, como sucede en un laboratorio real.

- Buscar siempre que la sensación sea similar a la sensación real. Por ejemplo, cuando se simula la sensación de un muro rígido en un *Joystick* de realimentación de fuerza, los motores dentro de éste aplican una fuerza que simula el encuentro del muro. Cuando el usuario mueve el *Joystick* para penetrar el

muro, los motores aplican una fuerza que resiste la penetración; el resultado final es una sensación física similar a la de encontrar un obstáculo.

- El efecto siempre debe ir coordinado con el movimiento en la pantalla [1].

#### 4.3 Ejemplos

A continuación se describen tres prácticas de laboratorio desarrolla-

das usando interfaces hápticas en la enseñanza de la ingeniería a distancia.

##### 4.3.1 Osciloscopio

Esta aplicación utiliza una interfaz háptica para aumentar la cantidad de información que recibe un usuario, al emplear no sólo el sentido de la vista. Un osciloscopio es un instrumento usado para medir y analizar señales eléctricas. Esta aplicación da al usuario información táctil que le permite sentir la amplitud, la forma de onda y la frecuencia de una señal, conceptos bastante abstractos y difíciles de experimentar, incluso en un laboratorio real. En la figura 5 se muestra la interfaz gráfica de la aplicación.

##### 4.3.2 Fuerza de empuje

Esta aplicación emplea una interfaz háptica para lograr que el estudiante en laboratorio virtual experimente una sensación similar a la del laboratorio real. Esta aplicación permite al usuario sentir la fuerza que experimenta un cubo de algún material, al ser sumergido en un fluido; la aplicación permite variar la dimensión y el material del cubo y cambiar el fluido. En la figura se presenta la interfaz gráfica de la aplicación.

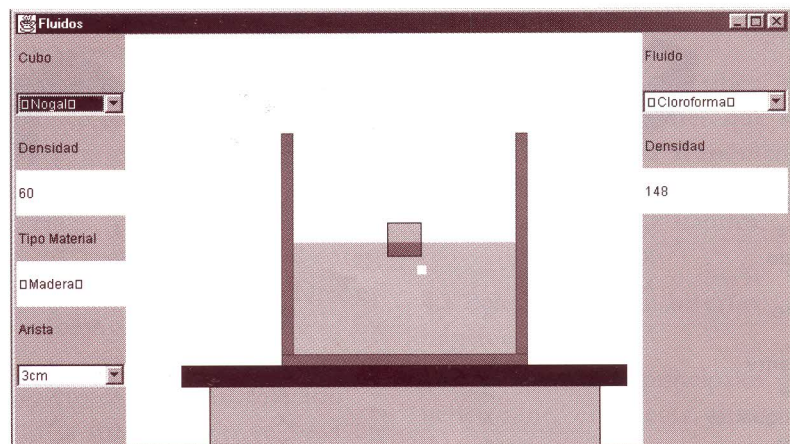


Figura 6. Interfaz gráfica Fuerza de empuje.

### 4.3.3 Ventaja mecánica

Esta aplicación, al igual que la anterior, usa una interfaz háptica para lograr que el estudiante en laboratorio virtual experimente una sensación similar a la del laboratorio real. Permite al usuario tener la sensación de la ventaja mecánica obtenida al usar poleas. En la figura se muestra la interfaz gráfica de la aplicación.

### CONCLUSIONES

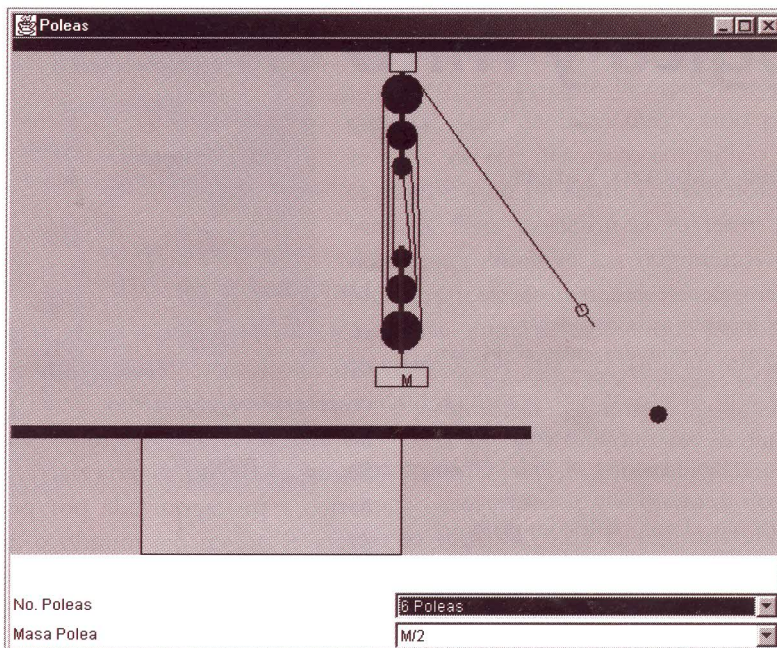
Una de las diferencias entre el proceso de aprendizaje en un laboratorio real realizado de manera presencial y el proceso de aprendizaje en un laboratorio a distancia (virtual o remoto) es la cantidad de información que recibe un estudiante a través de todos sus sentidos en un laboratorio real (por ejemplo, olores en un laboratorio de química, fuerzas en un laboratorio de física, texturas, etc.), algo difícil de lograr en un laboratorio a distancia; el uso de interfaces hápticas atenúa esta diferencia al incluir información adicional a la visual y auditiva utilizada tradicionalmente en los laboratorios a distancia.

El empleo de interfaces hápticas permite que el estudiante experimente a distancia sensaciones táctiles (por ejemplo fuerza, presión, etc.) similares a las del experimento

real, que perciba fenómenos físicos que por su magnitud no pueden ser observados en un experimento real y requieren ser aumentados (por ejemplo, fenómenos imperceptibles) o atenuados (por ejemplo, fenómenos nocivos para la salud) y que entienda mejor algunos conceptos abs-

Cuando hay excelentes condiciones de realimentación auditiva y visual, la realimentación táctil aumenta la satisfacción y mejora el desempeño del usuario.

Figura 7. Interfaz gráfica Ventaja mecánica.



tractos o intangibles mediante analogías táctiles (por ejemplo, frecuencia, amplitud y forma de una onda).

Desde el punto de vista del paradigma de aprendizaje por la experiencia, el uso de interfaces hápticas en el proceso de aprendizaje trabaja el modo de aprendizaje de la experiencia concreta, es decir, el aprender sintiendo, el cual es muy poco utilizado en la educación virtual actual y tan válido como los otros modos.

Cuando las realimentaciones auditiva y visual son pobres o inapropiadas, la realimentación táctil mejora la interfaz del usuario, y cuando hay excelentes condiciones de realimentación auditiva y visual, la realimentación táctil aumenta la satisfacción y mejora el desempeño del usuario.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] [http://www.immersion.com/corporate/press\\_room/what\\_is\\_haptics.php](http://www.immersion.com/corporate/press_room/what_is_haptics.php)
- [2] Biggs James, Srinivasan Mandayam, "Haptic Interfaces", Laboratory for Human and Machine Haptics, Massachusetts Institute of Technology, 1999.
- [3] <http://educacion.upa.cl/diversidad/percepcion.htm>
- [4] Shimoga, K. B., A survey of perceptual feedback issues in dexterous telemanipulation: Part I. Finger force feedback. 1993 IEEE Annual Virtual Reality International Symposium.
- [5] Batter, J. J. and Brooks, F. P., Jr., "A computer display to the sense of feel", University of North Carolina.
- [6] Alhalabi Bassem, *et al.*, "Remote Labs: An Innovative Leap in the World of Distance Education", Center for Distance Education Technologies (CDET), Florida Atlantic University.
- [7] Alhalabi Bassem, *et al.*, "Virtual Labs VS Remote Labs: Between Myth & Reality", Center for Distance Education Technologies (CDET), Florida Atlantic University.
- [8] [us.terra.wired.com/wired/negocios/0,1154,21610,00.html](http://us.terra.wired.com/wired/negocios/0,1154,21610,00.html)
- [9] Immersion TouchSense Fundamentals, 2001. [www.immersion.com](http://www.immersion.com)