



Robots submarinos



El equipo probó el mecanismo de desenganche de *Little Hercules* en el gancho del ROV. Imagen: NOAA *Okeanos Explorer* Program.
<http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/ex1202/logs/hires/apr4-3-hires.jpg>

¡Inventa un robot!

Foco

Diseño de ingeniería

Grado

5-6 (Ciencias físicas/Tecnología)

Pregunta central

¿Cómo pueden los científicos diseñar y construir armas robóticas capaces de realizar movimientos específicos?

Objetivos de aprendizaje

- Los estudiantes explicarán cómo se utilizan robots submarinos en la exploración científica para recolectar datos y ayudar a responder preguntas sobre el mundo natural.
- Los estudiantes diseñarán y perfeccionarán posibles soluciones para un problema de exploración oceánica en particular.

Materiales

Para cada grupo de estudiantes:

- Copia de la *Hoja de ejercicios* del estudiante
- Cinco trozos de cartón o cartulina, cada uno de aproximadamente 12" x 12" (cuanto más rígido mejor)
- Cinta adhesiva, de aproximadamente 2" x 80"
- 10 - Tornillos máquina con tuercas, # 8 x 1"
- 4 - Tornillos máquina con tuercas, # 8 x 3"
- 21 - Arandelas planas, agujero # 8
- 4 - Jeringas orales
- Dos piezas de tubo de plástico, de aproximadamente 3/16" de diámetro interno; cada uno de aproximadamente 12" de largo (debe caber cómodamente sobre el extremo de las jeringas)
- Agua
- Contenedor pequeño, como una taza para beber de 9 onzas

Herramientas (pueden ser compartidas por varios grupos de estudiantes)

- Tijeras de servicio pesado para cortar cartón (las "tijeras de vendaje" son económicas y funcionan bien)
- Clavo o destornillador Phillips para perforar agujeros en cartón
- Destornillador para ajustar el tornillo de la máquina



Materiales audiovisuales

- (Opcional) Proyector de video u otro equipo para mostrar las imágenes descargadas (consulte Procedimiento de aprendizaje, paso 1d)

Tiempo de aprendizaje

Dos o tres períodos de clase de 45 minutos, además de tiempo para que los estudiantes construyan su brazo robótico

Disposición de los asientos

Grupos de dos a cuatro estudiantes

Máximo número de estudiantes

30

Palabras y conceptos clave

Exploración del océano

Okeanos Explorer

Robot

Vehículo de Operación Remota (ROV)

Diseño de ingeniería

Información de fondo

El componente de caracterización del emplazamiento de la estrategia de exploración de *Okeanos Explorer*, depende en gran medida de los vehículos operados remotamente o ROVs; para más información sobre la estrategia de exploración de *Okeanos Explorer*, consulte la *Lección 1: To Explore Strange New Worlds*. Estos son robots no tripulados, conectados generalmente por un grupo de cables a un buque en la superficie. La mayoría de los ROV están equipados con una o más cámaras de video y luces, y también pueden llevar otros equipos como manipuladores o brazos para cortar, muestreadores de agua, equipos para recolectar muestras e instrumentos de medición para ampliar las capacidades del vehículo para recolectar datos sobre los ecosistemas de las profundidades oceánicas. Para obtener información adicional sobre los ROV utilizados a bordo del *Okeanos Explorer*, consulte the *Introducción a los robots submarinos*.

Esta lección presenta el proceso usado para diseñar vehículos operados remotamente.

Procedimiento de aprendizaje

1. Preparativos para esta lección:

a) Revise:

- Ensayos introductorios para la Expedición INDEX-SATAL de 2010 (<http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/welcome.html>); incluyendo *Little Hercules ROV* (<http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/background/rov/rov.html>);

b) Revise la información básica acerca de las estrategias de exploración y tecnología del *Okeanos Explorer*.

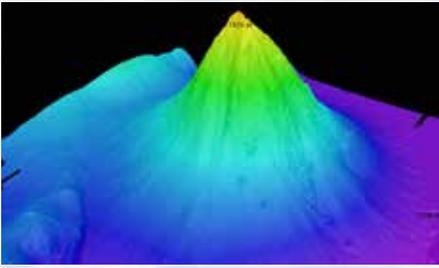
c) Copia de la *Hoja de ejercicios*, una copia para cada grupo de estudiantes.

d) Descargue las imágenes que se mencionan en el paso 2. También puede descargar ejemplos de imágenes de robots submarinos (http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/media/slideshow/flash_slideshow.html y http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/media/slideshow/video_playlist.html).



El ROV *Little Hercules* del Institute for Exploration, desplegado por buque *Okeanos Explorer* de NOAA. Imagen: NOAA *Okeanos Explorer* Program.

http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/ex1202/logs/hires/apr5_update_hires.jpg



El sistema de sonar multihaz EM302 del *Okeanos Explorer* produjo esta imagen detallada de la subestación Kawio Barat, que se eleva a unos 3800 metros del fondo marino. Imagen: NOAA *Okeanos Explorer* Program, INDEX-SATAL 2010.

http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/logs/hires/june26fig1_hires.jpg



Un CTD se amarra a una estructura metálica llamada roseta, o carrusel, junto con numerosas botellas de muestreo de agua y cuando se despliega, proporciona información sobre la composición de la columna de agua. Imagen: NOAA.

<http://oceanexplorer.noaa.gov/technology/tools/sondectd/sondectd.html>



Los tripulantes del *Okeanos Explorer* lanzan el vehículo durante las inmersiones de prueba en Hawaii. Imagen: NOAA *Okeanos Explorer* Program, INDEX-SATAL 2010.

http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/background/hires/launch_hires.jpg



El jefe de equipo de ROV, el comandante y el jefe del equipo científico discuten las operaciones en el Mid-Cayman Rise con participantes ubicados tanto en el Silver Spring ECC como en el URI's Inner Space Center. Imagen: NOAA *Okeanos Explorer* Program, MCR Expedition 2011.

http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/ex1104/logs/hires/daily_updates_aug9_1_hires.jpg

2. Introduzca brevemente al buque *Okeanos Explorer* de NOAA y a la Expedición INDEX-SATAL de 2010. Describa brevemente por qué este tipo de exploración es importante (para información contextual, por favor vea la lección, *Earth's Ocean is 95% Unexplored: So What?*; http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/background/edu/media/so_wbat.pdf). Destaque la estrategia de exploración general utilizada por *Okeanos Explorer*, incluyendo los siguientes puntos:

- La estrategia general se basa en encontrar anomalías;
- Esta estrategia requiere
 - reconocimiento en curso;
 - exploración de la columna de agua; y
 - caracterización del sitio;
- Esta estrategia se basa en cuatro tecnologías clave:
 - tecnologías de telepresencia que permiten que las personas observen e interactúen con eventos que ocurren en una ubicación remota.
 - sistema de cartografía de sonar multihaz;
 - CTD y otros sensores electrónicos para medir las propiedades químicas y físicas del agua de mar; y
 - un Vehículo de Operación Remota (ROV) capaz de obtener imágenes de alta calidad y muestras en profundidades tan grandes como los 4000 metros.

Quizás le interese mostrar las imágenes de la barra general adyacente y adjuntarlas a esta revisión.

3. Explique que la construcción de ROV complicados como *Little Hercules* implica un proceso llamado diseño de ingeniería. Si los estudiantes no están familiarizados con este concepto, explique que el diseño de ingeniería es un proceso que los ingenieros utilizan para encontrar soluciones a problemas específicos. Existen muchas versiones de este proceso, pero los pasos básicos son:

- definir el problema;
- reunir información relevante;
- aportar ideas sobre posibles soluciones;
- analizar posibles soluciones y seleccionar las más prometedoras; y
- poner a prueba la solución.

Definir el problema incluye identificar limitaciones tales como materiales y recursos disponibles. Destaque que la investigación sobre un problema debe llevarse a cabo antes de comenzar a diseñar una solución. Esto puede involucrar búsquedas en Internet, estudios de mercado, observaciones de campo o consultas con otros que tengan experiencia con el problema en particular. A menudo, una manera productiva de generar ideas es que las personas trabajen juntas para aportar ideas, probar y refinar posibles soluciones. Podemos comparar diferentes propuestas sobre la base de cómo cada persona cumple con los criterios especificados para tener éxito y la forma en que toma en cuenta las limitaciones.

Poner a prueba una solución a menudo implica la construcción de modelos de diseño simples para asegurarse que una idea funcione antes de invertir mucho tiempo y dinero para construir algo más elaborado. Este paso a veces se llama prototipado o “prueba de concepto”. Si el prototipo funciona, los diseñadores continuarán desarrollando su solución con los mismos materiales y técnicas. Si el prototipo no funciona, los diseñadores deben volver a un paso previo y considerar soluciones que utilizan otros materiales y técnicas. Este proceso puede

repetirse varias veces para lograr mejorar la solución hasta que los resultados sean satisfactorios. En proyectos complejos, diferentes equipos podrían trabajar en partes diferentes del problema. Un ROV como *Little Herc* podría tener un equipo de diseño trabajando en el sistema de video, otro equipo trabajando en propulsión, y otro responsable de la electrónica.

Puede también señalar que los exploradores a menudo encuentran problemas o retos inesperados durante una expedición. Un ejemplo famoso es la misión de Apolo 13, durante la cual los ingenieros en la tierra tuvieron que diseñar un “depurador” que eliminaría el dióxido de carbono del aire que los astronautas debían respirar, usando sólo materiales que ya estaban a bordo de la nave espacial. Para encontrar soluciones a este tipo de desafíos, los exploradores recurren a menudo al diseño de ingeniería.

Recuérdale a los estudiantes que *Little Hercules* ha sido diseñado para obtener imágenes de video de alta calidad en profundidades oceánicas de hasta 4000 metros. *Little Hercules* también puede transportar instrumentos electrónicos para medir características ambientales como la temperatura, pero lo único que puede traer consigo de regreso a la nave, es imágenes. Dígale a los estudiantes que su tarea es utilizar los métodos de diseño de ingeniería para desarrollar un brazo robótico capaz de recoger objetos del tamaño de una lata de gaseosa.

Mencione que otros equipos que trabajan en este problema han determinado que un sistema de control hidráulico puede ser parte de la solución de la tarea de diseño del brazo robótico. Entonces, para comenzar el proceso de diseño, los estudiantes necesitarán revisar algunos conceptos básicos de hidráulica y mecánica simple.

4. Asegúrese de que los estudiantes entiendan los siguientes conceptos relacionados con máquinas simples:

- El número exacto de “máquinas simples” depende en cierta medida de su perspectiva, pero la lista normalmente incluye palancas, poleas, ruedas y ejes, planos inclinados, cuñas y tornillos. De alguna manera, las poleas y las ruedas y ejes son variaciones de la palanca; y la cuña y el tornillo son formas alternativas del plano inclinado.
- Las palancas se dividen en tres clases, dependiendo de las posiciones del brazo de la palanca de entrada, del fulcro y del brazo de salida (o carga). En una palanca clase I, el fulcro está situado entre el brazo de entrada y el brazo de salida (tal como una palanqueta). En una palanca de clase II, la fuerza de salida está entre la fuerza de entrada y el fulcro (como en una carretilla). En una palanca de clase III, la fuerza de entrada está entre la fuerza de salida y el fulcro (como en un brazo humano).
- La ventaja mecánica es la relación entre la fuerza de salida y la fuerza de entrada. Una de las grandes ventajas de muchas máquinas simples es que tienen grandes ventajas mecánicas, como una palanca, que esencialmente multiplica la fuerza aplicada por un ser humano por 2, 3 o más. Pero en algunas máquinas, la ventaja mecánica es menor que 1, porque el propósito de la máquina no es aumentar la fuerza de entrada, sino más bien cambiar la dirección o la distancia sobre la que opera la fuerza.



5. Dele a cada grupo de estudiantes una copia de la *Hoja de ejercicios* y los materiales enumerados en la parte B de la *Hoja*. Pídale a cada grupo que complete las partes A y B. Luego conduzca una discusión acerca de los resultados que obtuvieron los estudiantes. Ellos deben entender que:

- La hidráulica se refiere al uso de líquido confinado para transmitir energía, multiplicar fuerza o producir movimiento;
- Los sistemas hidráulicos utilizan un líquido mientras que los sistemas neumáticos utilizan aire u otros gases; y
- Un actuador es un dispositivo mecánico que convierte la energía en algún tipo de movimiento.
- La energía que opera los actuadores que construyeron en la parte B es energía mecánica de sus propios músculos, que es transferida al brazo móvil por el sistema hidráulico del actuador.

Proporcione materiales adicionales listados en la parte C de la *Hoja de ejercicios*, y cualquier instrucción o consejo adicional que pueda ser necesario. Anime a los estudiantes a considerar varias soluciones posibles, y señale que la optimización de los diseños implica probar diferentes soluciones para determinar cuál de ellas mejor resuelve el problema, teniendo en cuenta los criterios y las restricciones. Quizás desee exigirle a cada grupo que presente el concepto de su modelo antes de comenzar la construcción; si esto fuera un requisito, es posible que desee proporcionar los materiales adicionales después de que el concepto haya sido aprobado.

6. Cuando los estudiantes hayan completado la parte C de la *Hoja de ejercicios*, pídale a cada grupo que presente su modelo y explique su funcionamiento al resto de la clase. Pídale a los estudiantes que describan los criterios y restricciones que influyeron en su diseño, cómo desarrollaron sus soluciones y cómo optimizaron la solución elegida. Hay muchas maneras de construir un modelo que cumpla con los requisitos de diseño. Los puntos esenciales son:

- Los requisitos de diseño han sido claramente identificados. Por ejemplo, el modelo debe ser capaz de agarrar un objeto, tal como una taza de plástico vacía, y levantarlo por lo menos una pulgada.
- Se consideran varias opciones.
- La opción seleccionada cumple los requisitos de diseño.
- Si el modelo no cumple con los requisitos de diseño, los estudiantes deben identificar las modificaciones necesarias.

Cuando todos los grupos hayan presentado sus resultados, dirija una discusión en clase sobre los próximos pasos para el diseño de un brazo robótico que pueda recuperar objetos del fondo del océano, y qué decisiones de diseño adicionales serían necesarias. La lista de decisiones incluye:

- Materiales para la construcción del brazo, considerando las condiciones ambientales en el océano profundo;
- Número de movimientos necesarios (esto se llama “grados de libertad”, el actuador en la parte B de la *Hoja de ejercicios* tiene un grado de libertad, el brazo humano tiene más de 26 grados de libertad);
- ¿Cómo se alimentará el brazo (la mejor solución es el sistema hidráulico, cuáles son algunas otras opciones ?);
- ¿Cómo se controlará el brazo desde la superficie?; y
- ¿Qué otros sensores podrían ser necesarios? (por ejemplo, una cámara de video montada en el brazo para mostrar lo que se está levantando, o un

sensor de presión en la pinza para saber cuánto se está exprimiendo un objeto.

Asegúrese de que los estudiantes comprendan que, en un sistema hidráulico real, los músculos de sus manos serían reemplazados por una bomba para mover el fluido hidráulico dentro y fuera de los actuadores.

7. (Opcional) Algunas conexiones con la matemática – Pídale a los estudiantes que calculen el volumen de fluido hidráulico (agua en este caso) necesario para llenar el sistema en su diseño. Esto implicará medir la longitud y el diámetro de las jeringas y tubos, y calcular el volumen de esta manera:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot L$$

Donde V es volumen, r es el radio de la tubería o jeringa, y L es su longitud.

También le puede pedir a los estudiantes que verifiquen sus cálculos midiendo el volumen de agua que sus sistemas contienen realmente.

8. Estas actividades y discusiones también pueden abordar los siguientes componentes de la alfabetización tecnológica (ITEA, 2007):

- Utilidad de la tecnología
- Desarrollo de la tecnología
- Proceso de invenciones e innovaciones
- Atributos de diseño
- Comprensión del diseño de ingeniería y del proceso de diseño
- Enfoques de resolución de problemas
- Habilidades para aplicar procesos de diseño
- Habilidades para usar y mantener productos tecnológicos

La conexión BRIDGE

www.vims.edu/bridge/ – Desplácese por “Ocean Science Topics” en el menú del lado izquierdo de la página, luego vaya a “Human Activities”. Finalmente seleccione “Technology” para obtener actividades y enlaces acerca de submarinos, ROV, y otras tecnologías utilizadas en la exploración submarina.

La conexión personal

Pídale a los estudiantes que escriban un breve ensayo describiendo cómo utilizarían el proceso del diseño de ingeniería.

Conexiones con otros temas

Arte del idioma inglés (ELA), ciencias de la vida, matemáticas, física

Evaluación

Los modelos realizados por los estudiantes y las discusiones en clase proporcionan oportunidades para la evaluación.

Extensiones

1. Visite la página web (<http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/welcome.html>) para obtener informes, imágenes y otros productos de los cruceros del *Okeanos Explorer*.
2. Visite <http://www.marinetech.org/rov-competition-2/> para ver un video de la competencia estudiantil de ROV más reciente de la Marine Technology Society's y enlaces a otros sitios sobre robots submarinos.



3. Para ideas sobre cómo construir robots submarinos, diríjase a Bohm y Jensen (1998), Bohm (1997) y el Programa Sea Perch (ver Otros Recursos).

Misiones de descubrimiento multimedia

<http://oceanexplorer.noaa.gov/edu/learning/welcome.html> – Haga clic en los enlaces las lecciones 1, 5, y 6 para obtener presentaciones multimedia y actividades para aprender acerca de las placas tectónicas, la quimiosíntesis, la vida en las fuentes hidrotermales y el bentos de la profundidad del mar.

Estándares científicos de la próxima generación

Los planes de estudio desarrollados para el volumen 2 se correlacionan con *Los principios esenciales y los conceptos fundamentales de la alfabetización oceánica* como se indica al final de este libro. Además, un documento adicional disponible en línea, proporciona apoyo con lecciones individuales para las Expectativas de rendimiento y las tres dimensiones de los Estándares científicos de la próxima generación y los respectivos Estándares estatales de Common Core para matemática, la alfabetización y el arte del idioma inglés (ELA). Le damos esta información a los educadores como contexto o punto de partida para abordar normas particulares. Esto no significa necesariamente que cualquier lección desarrolla completamente un estándar, principio o concepto particular. Por favor, vea: http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/edu/collection/bdwe_ngss.pdf

Envíenos sus comentarios

Valoramos sus comentarios acerca de esta lección, incluyendo cómo la usa usted en su propia configuración educativa, formal o informal. Por favor, envíe sus comentarios a: oceaneducation@noaa.gov

Para más información

Paula Keener, Directora de los Programas Educativos de la Oficina de Exploración e Investigación Marina de NOAA Hollings Marine Laboratory
331 Fort Johnson Road, Charleston SC 29412
843.762.8818 843.762.8737 (fax)
paula.keener-chavis@noaa.gov

Agradecimientos

Producido por Mel Goodwin, PhD, biólogo marino y escritor científico, Charleston, SC. Diseño Gráfico: Coastal Images Graphic Design, Charleston, SC. Si reproduce esta lección, por favor cite a NOAA como su fuente, y proporcione la siguiente URL: <http://oceanexplorer.noaa.gov>



Hoja de ejercicios del alumno

Su grupo es uno de varios equipos que trabajan para diseñar un brazo robótico, capaz de recoger objetos del fondo del océano, del tamaño de una lata de gaseosa. Uno de los otros equipos de diseño ha sugerido que los actuadores hidráulicos podrían ser parte del diseño final. Su equipo deberá construir un modelo que demuestre cómo se podría hacer esto.

A. Revisión de la información de fondo

1. ¿Qué significa “hidráulico”?
2. ¿Cuál es la diferencia entre “hidráulico” y “neumático”?
3. ¿Qué es un actuador?

B. Construir un actuador hidráulico simple

Materiales

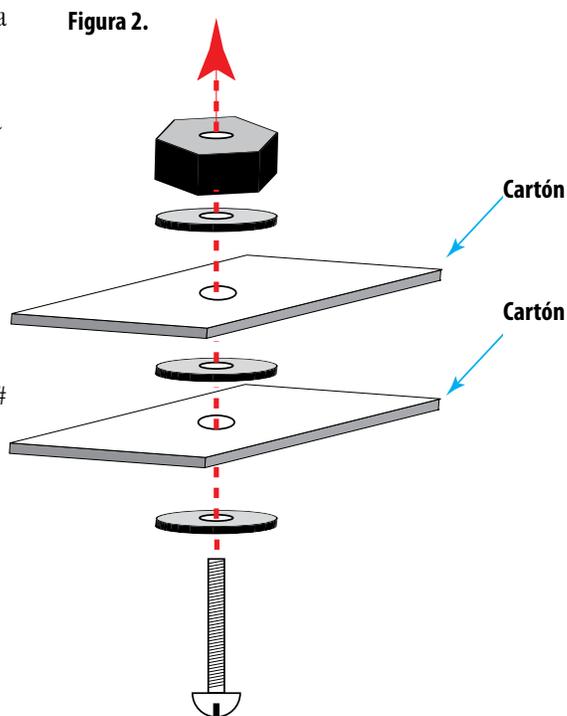
- Una pieza de cartón o cartulina gruesa, de aproximadamente 12” x 12” (lo más rígida mejor)
- Cinta adhesiva, de aproximadamente 2” x 60”
- Tornillo con tuerca, # 8 x 1”
- 3 - Arandelas planas, agujero # 8
- 2 - Jeringas orales
- Tubos de plástico de aproximadamente 3/16 “de diámetro interior x 12” (deben encajar perfectamente sobre el extremo de las jeringas)
- Agua
- Recipiente pequeño, como una taza para beber de 9 onzas

Herramientas

- Tijeras pesadas para cortar cartón (las “tijeras de vendaje” son económicas y funcionan bien)
- Clavo o destornillador Phillips para perforar agujeros en cartón
- Destornillador para ajustar el tornillo
- Cinta métrica

Procedimiento

1. Corte dos trozos de cartón usando el patrón en la página 11 (figura 1).
2. Refuerce las piezas de cartón: ponga un pedazo de cinta adhesiva en un lado, luego corte el exceso de cinta de los bordes. Coloque un segundo trozo de cinta adhesiva en el otro lado y recorte los bordes. Repita este proceso, si es necesario, hasta que las piezas estén bien tiesas.
3. Haga un agujero en cada una de las piezas tal como se muestra en el patrón. El agujero debe ser lo suficientemente grande para el tornillo de la máquina # 8, pero no mucho más grande.
4. Fije las dos piezas con un tornillo de máquina # 8, tres arandelas planas y una tuerca # 8 como se muestra en la figura 2. Quizás necesite un destornillador para enroscar el tornillo en los agujeros. No apriete demasiado los tornillos; las piezas necesitan moverse libremente alrededor del tornillo. Quizás vea que colocar una arandela o tuerca extra entre las dos piezas de cartón permite más movimiento.



5. Tome un pedazo de cinta adhesiva de 6" de largo, y córtela por la mitad longitudinalmente, y luego vuelva a cortar una de estas piezas por la mitad a lo largo. Estos trozos de cinta más estrechos serán útiles para unir una jeringa a la pieza más corta de cartón.

6. Conecte el émbolo de una jeringa a la pieza más corta de cartón como se indica en el patrón. Corte uno de los trozos más estrechos de cinta adhesiva por la mitad y envuélvalo alrededor del émbolo y del cartón como se muestra en la figura 3. Ahora envuelva un segundo pedazo estrecho de cinta adhesiva alrededor del émbolo en ángulos rectos al primer pedazo de cinta. Agregue más cinta si es necesario, pero asegúrese de que la junta entre el émbolo y el cartón no esté demasiado apretada.



7. Pegue la jeringa en la mayor pieza de cartón como se muestra en la figura 4. Asegúrese de que el émbolo se inserte completamente en el cañón de la jeringa.



8. Presione uno de los extremos de la tubería de plástico en el extremo de la otra jeringa para que esté firmemente unido.

Coloque el otro extremo de la tubería de plástico en un pequeño recipiente de agua, y tire del émbolo hacia atrás para que el agua entre en el tubo y la jeringa. Llene la jeringa lo más posible, luego sujete el extremo de la tubería de plástico de forma que esté más arriba que el extremo de la jeringa y empuje el émbolo lentamente hasta que la jeringa esté a medio llenar y no haya aire en la jeringa o en el tubo de plástico. Puede que tenga que volver a llenar la jeringa con más agua y repetir este procedimiento unas cuantas veces para deshacerse de todo el aire.

9. Conecte el extremo abierto de la tubería de plástico a la jeringa que está pegada al conjunto de cartón. Presione lentamente el émbolo en la jeringa suelta. Debería poder ver el pequeño brazo en el ensamblaje de cartón girar alrededor del tornillo de la máquina. Retire el émbolo lentamente para invertir este movimiento. ¡Su actuador hidráulico está completo!

C. Diseñar y construir un mecanismo hidráulico para un brazo robótico

Recuerde que la tarea de su equipo es construir un modelo que demuestre cómo los actuadores hidráulicos podrían ser utilizados para construir un brazo robótico capaz de recoger objetos del tamaño de una lata de gaseosa, desde el fondo del océano. Este modelo NO tiene que tener todas las características que serán necesarias para hacer el brazo robótico final. Sólo es necesario demostrar que un diseño con actuadores hidráulicos podría producir los movimientos que serían necesarios para lograr el propósito del brazo robótico. Su modelo debe ser capaz de hacer dos cosas:

- Sujetar un objeto (como un vaso de plástico vacío); y
- Levantar el objeto por lo menos una pulgada.

Para que otros equipos puedan aprender de su experiencia, es muy importante documentar cómo se aplica el proceso de diseño de ingeniería. Además de crear un modelo que cumpla con los dos requisitos, su equipo debe producir un informe que:

1. Defina el problema;
2. Describa su solución, incluyendo un dibujo de su modelo;
3. Explique su procedimiento de construcción;
4. Informe los resultados de las pruebas del modelo.

Si su modelo no puede cumplir con los requisitos de diseño, describa las modificaciones que considere necesarias para que funcione

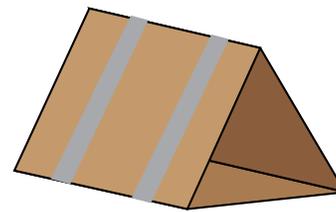
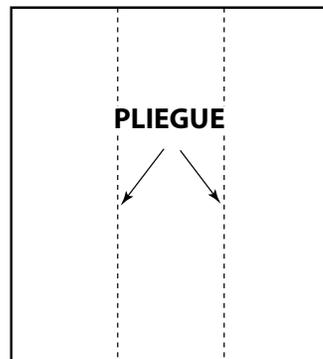
Materiales adicionales

- Cuatro piezas de cartón o cartel de cartón pesado, cada una de aproximadamente 12" x 12"
- Cinta adhesiva, de aproximadamente 2" x 20'
- 9 - Tornillos de máquina con tuercas, # 8 x 1"
- 4 - Tornillos de máquina con tuercas, # 8 x 3"
- 17 - Arandelas planas, agujero # 8
- 2 - Jeringas orales
- Tubos de plástico de aproximadamente 3/16" de diámetro interior x 12"

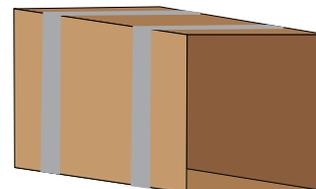
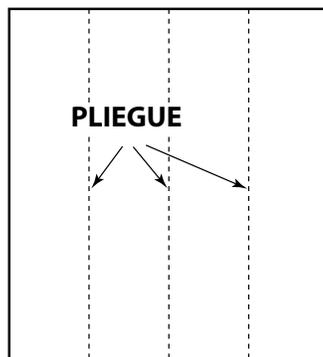
Nota: Estos materiales son suficientes para construir muchos modelos que cumplan con los requisitos de diseño, pero su modelo puede no necesitar todos ellos.

Sugerencia: Los brazos y soportes de cartón son mucho más resistentes si se pliegan y se pegan con cinta para formar vigas con secciones transversales cuadradas o triangulares (ver figura 5).

Figura 5.



Viga de sección triangular



Viga de sección cuadrada

Figura 1.

