



**Escola Universitària Politècnica
de Vilanova i la Geltrú**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ROBOTRÓNICA

AUTORES: FRANCISCO HERAS GONZALEZ
LUIS MIGUEL MARAÑA VAQUERO

TITULACIÓN: INGENIERIA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

DIRECTOR: PERE PONS ASENSIO

DEPARTAMENTO: ESAII

FECHA: 27 de Mayo del 2003

MINIPROYECTO

RESUMEN

En primer lugar se hace referencia a la robótica espacial, dando una visión específica de la estación espacial internacional (Canadarm2, Destiny,...); completándola con la situación de futuro en cuanto a la exploración a Marte y mencionando un experimento *test* de ingeniería.

En segundo lugar se trata el campo de la Robótica Médica, concretamente dando contenido a un estudio de diferentes instrumentos útiles para la cirugía robotizada por medio de la telemanipulación robótica con el objetivo de rehabilitación.

Por último se extiende la Robótica Submarina que se divide en cuatro apartados todos ellos relacionados. Estos apartados son: 1-Introducción histórica en el mundo submarino y su relación hombre-máquina, 2-Clases fundamentales de robots submarinos, entre ellos el ROV que posteriormente en el 3- se trata su diseño (es el más utilizado) para después ver las clases de ROV's que hay y su puesta en marcha.

Palabras clave

ROV	Manipulador	TMS
<i>Vuelo libre</i>	telerrobótica	<i>Hélice</i>
	Elemento terminal (Brida)	

ROBOTRONICA

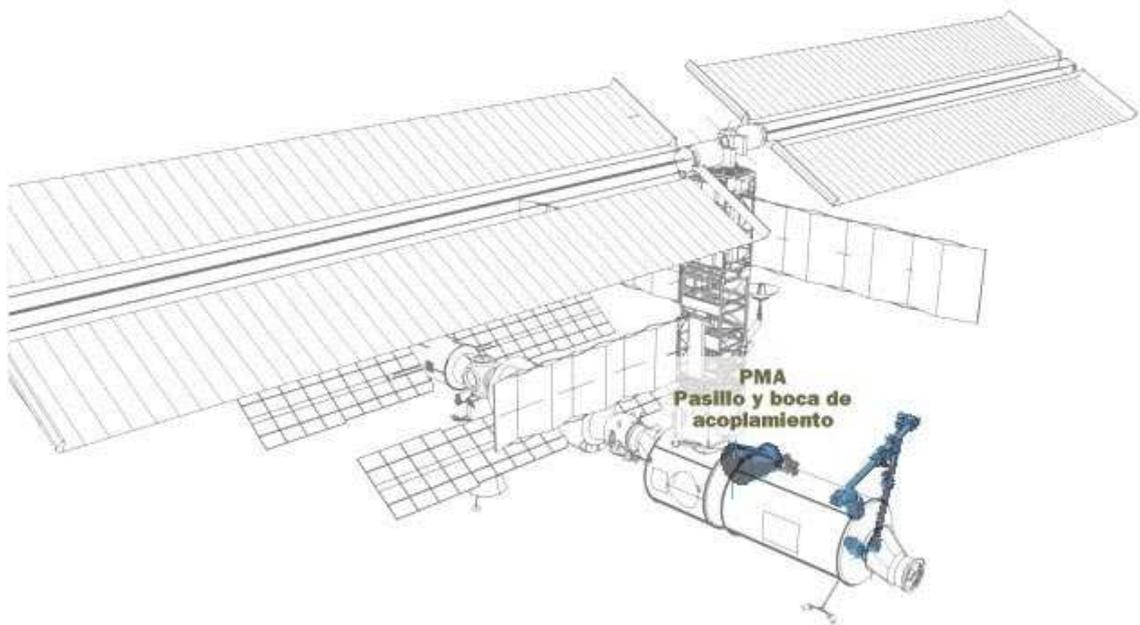
Índice

1.Robótica espacial	2
1.1.EL BRAZO CANADARM2	4
1.1.1Características	
1.2.ESTACIÓN ESPACIAL INTERNACIONAL ISS	5
1.3.EL MÓDULO DESTINY	7
1.4.MARVEL Y EL FUTURO	9
1.5.EXPLORACIÓN ROBOTICA A MARTE.	11
1.6.ETS-VII Satélite de <i>Test</i> de Ingeniería VII	12
1.6.1Experimentos para el desarrollo en el ETS-VII	
2.Robótica Medica	13
2.1-INTRODUCCION	14
2.2-TELEMANIPULACION ROBOTICA.	15
2.3-SIMULACION	17
2.4-REHABILITACION.	18
2.5-INVESTIGACION	20
2.5.1 Interfaz apto a 3 Gdl	
2.5.2 Interfaz apto a 5 Gdl	
2.6-CONCLUSION	22

1.Robótica espacial

1.1.EL BRAZO CANADARM2

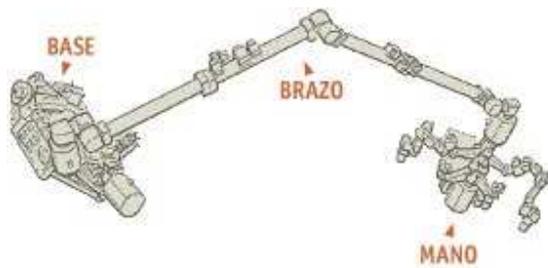
7



Canadarm2	Brazo robot
País: Canadá Instalación: Abril 22, 2001	Largo: 17,6 metros Peso: 1,8 toneladas

El **Canadarm2** es un manipulador espacial robotizado de la más alta tecnología robótica que forma parte de la estación internacional espacial.

Esta constituido por un brazo que es el encargado de acceder a diversas zonas y por una grúa que el elemento que le da movilidad.



En una de las bodegas de la estación espacial internacional (*Endeavour*) se encuentra plegado el Canadarm2.



bodega

Construido por la Agencia Espacial Canadiense(CSA), el **Canadarm2** es enorme y pesado y es mas completo que la edición anterior.(El *Canadarm*)



Canadarm

1.1.1 Características del Canadarm2:

17,6 metros de largo (2,6 metros más que el del trasbordador)

- 1.800 kg

-Dispone de una mano inteligente en cada extremo. (2 manos)

Estas manos se utilizan para sujetar unos peldaños especiales que se colocarán en puntos estratégicos de la ISS y que le proveerán energía, datos y conexiones de video y están equipadas con luces, cámaras y diversas herramientas para, por ejemplo, instalar y reemplazar baterías, fuentes de poder y hasta delicadas computadoras

Estos peldaños serán capaces de desplazarse como un gusano de un extremo a otro de la ISS y llegar hasta donde se lo necesite para tareas tan delicadas como enchufar conectores, o tan pesadas como ayudar a acoplarse al trasbordador.

El actual *Canadarm* puede mover masas de hasta 29,5 toneladas, el *Canadarm2* es capaz de arreglárselas con volúmenes como vagones ferroviarios de hasta 116 toneladas.

El *Canadarm2* esta controlado desde el laboratorio *Destiny* de la ISS, y los astronautas lo programan para ofrecer una tarea determinada.

1.2. ESTACIÓN ESPACIAL INTERNACIONAL ISS



Está equipada con unos gigantescos paneles solares (con paredes y escudos) protegen a la tripulación de la radiación y mantienen la temperatura en el interior.

También cuentan con puertos de acoplamiento para recibir a las naves con provisiones.

La Estación Espacial Internacional (ISS) está formada por tres módulos, que suman 81 toneladas de masa y 43 metros de longitud, y da una vuelta a la Tierra cada hora y media a 390 kilómetros de altura.

Características

Dimensiones 110 x 75 x 42 metros

Peso 415 toneladas

Volumen 1140 m³

Órbita 390 kilómetros de altura

Tripulación 7 personas

Potencia eléctrica 110 Kw

Participación 16 países.

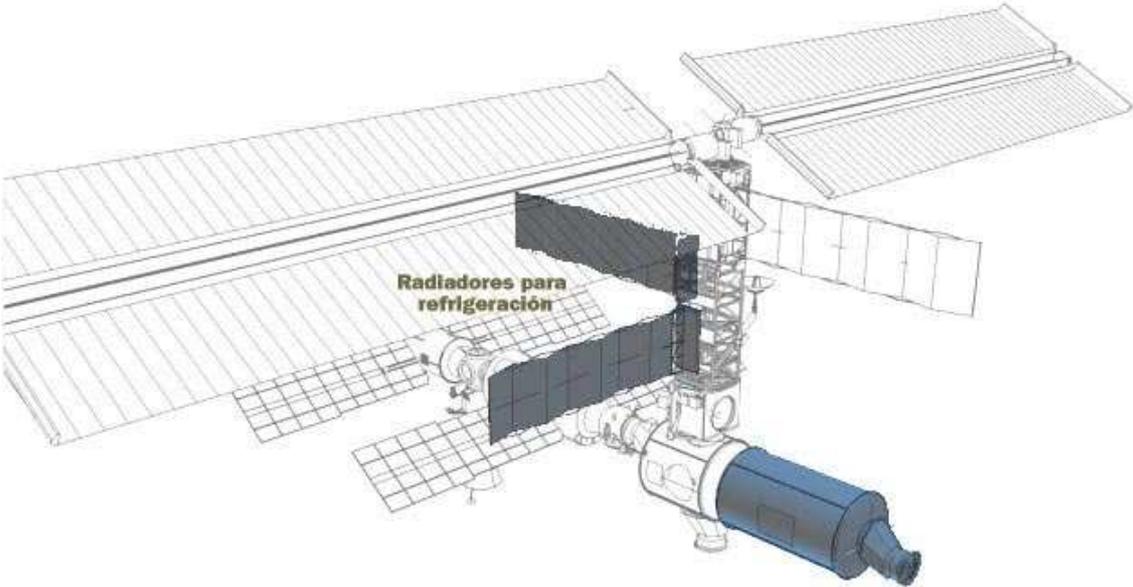
Coste terriblemente elevado

España representada a través de la Agencia Europea del Espacio (ESA), participan en la ISS, asociada con Estados Unidos y Rusia.

Estos países aportan proyectos tecnológicos y acuerdos económicos entre ellos.

La ISS permitirá elaborar y ensayar nuevas tecnologías, medicamentos y productos industriales en un ambiente aislado de la gravedad terrestre y completamente controlable, algo imposible en la superficie.

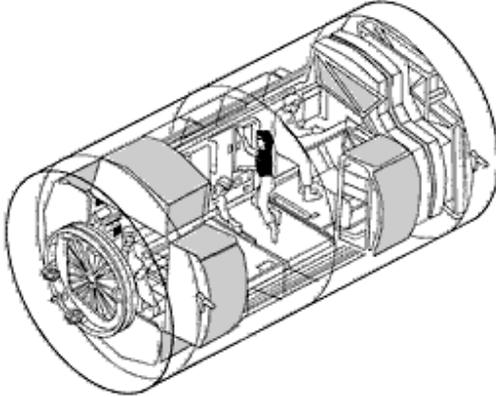
1.3.EL MÓDULO DESTINY



Destiny	Laboratorio norteamericano - Comando y control
País: Estados Unidos	Largo: 8,5 metros
Instalación: Febrero 10, 2001	Ancho: 4,3 metros

El *Destiny* es parte de la ISS.

La Estación Espacial Internacional dejó atrás esta tarde a la plataforma rusa *Mir* en capacidad habitable cuando los astronautas del *Atlantis* le agregaron el laboratorio ***Destiny***.



vista interior del pasillo del *destiny*

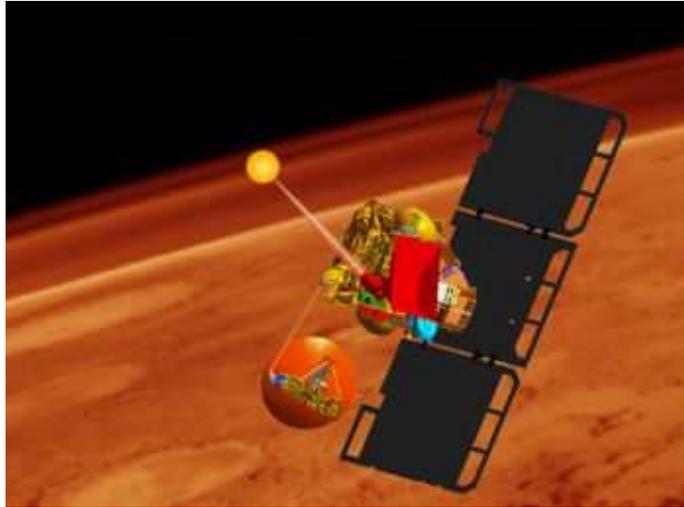
Características:

- cilindro de 8,50 metros por 4,30 y 14 toneladas de peso,
- masa del complejo espacial de 112 toneladas
- 52,1 metros de largo.

El ***Destiny*** es el módulo de comando y control de navegación y posición de la Estación Alfa, y su entrada en servicio determinará que el Centro Espacial *Johnson* de la NASA, en Houston, releve al Centro de Control *Korolev*, en Moscú, en la operación de la estación.

1.4. MARVEL y el futuro

Es una sonda dedicada a buscar signos de vida en la atmósfera marciana.



Útil para buscar rastros de vida o incluso entornos de vida en cualquier parte del planeta.

La misión la compone un orbitador marciano con dos tipos de instrumentos que han demostrado ser útiles en el estudio de la atmósfera terrestre desde la órbita.

Primer instrumento:

espectrómetro infrarrojo con ocultación solar: haría un seguimiento a través de la atmósfera marciana al Sol para una medición sensible de los gases que el Sol atraviesa antes de incidir en el instrumento.

Segundo instrumento:

espectrómetro *submilimétrico*: buscaría polvo en la atmósfera para detectar concentraciones atmosféricas localizadas de compuestos químicos de interés.

MARVEL puede detectar y localizar concentraciones de vapor de agua, una estrategia para identificar aguas bajo la superficie aflorando en forma de vapor.

Hay un tercer instrumento, una cámara para mostrar el contexto de las condiciones de las nubes.

El futuro:



aterrizador

La NASA intentara enviar aterrizadores baratos y fiables a Marte , en el 2010.

Se crearía una sonda de descenso llamada *Groundbreaker*, para coger muestras de Marte.

Y además:

La Subsurface Explorer, un robot que se excavaría la superficie marciana varios metros para analizarla directamente a través de tubos que transporten el material a los instrumentos.

El Inchworm Digger, una especie de topo que se introduciría cientos de metros por el interior del suelo para ir tomando muestras en distintas profundidades y traerlas de vuelta a la superficie.

1.5.EXPLORACIÓN ROBOTICA A MARTE.

Hay varias misiones de exploración a marte.



La nave **Beagle2** es un aterrizador que debía volar junto con la nave europea **Mars Express** pero como no se acabo se lanzó **Mars Express** en solitario.

Mars Express contiene un numero de *airbags* necesarios para el aterrizaje.

Un inconveniente de la nave **Beagle2** es que no incluye unos pequeños retrocohetes(para disminuir su velocidad), antes de que se inflen los *airbag*, para que el impacto sea lo más lento posible. Esto implica que el impacto producido se efectuó a más de 100 Km/h, lo que provocaría la rotura de los *airbags*.

1.6.ETS-VII Satélite de Test de Ingeniería VII

El experimento ETS-VII se compone de dos satélites. Su objetivo es llevar a cabo experimentos para confirmar las tecnologías básicas para ensamblaje y robótica espacial. La investigación y el desarrollo de aplicaciones vía satélite, implementadas directamente sobre bases orbitales, también se encuentran presentes.

Características

Lanzamiento:

Se lanzo en 1997.

Centro Espacial de *Tanegashima*, con un vehículo lanzador H-II

Orbita :

Altitud : 550 Km.

Inclinación: 35° E

Peso:

Peso Total: 2,950 Kg

Satélite Proyectil: 2,540kg

Satélite Destino: 410kg

Control de Altitud:

Satélite Proyectil: Estabilizado por tres ejes

Satélite Destino: Estabilizado por tres ejes

Vida útil:

1.5 años.

1.6.1 Experimentos para el desarrollo en el *ETS-VII*

El *ETS-VII* experimentará procedimientos de ensamblado y dispositivos de robótica espacial. En el experimento de ensamblado, el satélite proyectil conduce automáticamente o por mando remoto el ensamblado con el satélite destino, usando los nuevos dispositivos de robótica espacial para el telecomando.

Los experimentos del *ETS-VII* están optimizados para una interconexión con el proyecto *COMETS* para su tele operación desde puntos no visibles directamente desde tierra.

Experimentos de Robótica Espacial

Los Experimentos de Robótica Espacial van dirigidos para la obtención de la tecnología necesaria para las tele operaciones espaciales y la tecnología necesaria para el desarrollo de robots espaciales.

Los siguientes experimentos se llevaron a cabo.

1.El control cooperativo entre el robot espacial (proyectil), su movimiento y la altitud del satélite.

2.La tele operación del robot espacial desde la tierra.

3. El intercambio de equipo en órbita mediante el uso del robot espacial. Combinando la ingeniería de robótica espacial, los resultados del laboratorio de pruebas y el equipamiento de NASDA se llevan a cabo los experimentos siguientes.

4.Experimento de Robótica Avanzada para la mano del róbalo (MITIETL)

5.Experimento del mecanismo de ensamblaje de la Antena (CRL)

6.Experimento de reconstrucción de equipamiento con el brazo robot (NAL)

Todos estos experimentos están en progreso.

Funcionamiento

El funcionamiento de los experimentos de robótica espacial están controlado desde la NASDA mediante la interconexión de varias bases terrestre y en órbita (COMETS)

2.Robótica Medica

En el campo de la robótica medica la utilidad de un interfaz es particularmente indicado tanto en aplicaciones de cirugía robotizada como en la rehabilitación. Tales usos se pueden agrupar en tres categorías principales:

- La ejecución asistida de tarea de operación mediante uso del sistema *master-slave*.
- La simulación en ambiente virtual.
- La rehabilitación.

La interfaz esta dotado de tres grados de libertad, y este consiste en el movimiento de un elemento terminal(brida) especifico.

La manipulación del utensilio para evaluar la fiabilidad de la intervención de la cirugía dispone de cinco grados de libertad.

2.1-INTRODUCCION

Para interactuar con el operador humano se utiliza una interfaz y un robot.

El robot atraviesa la información formada por los *encoders*, lee la posición del dedo del operador. Un software del ambiente virtual determina si el dedo está en contacto con el objeto virtual.

En este punto el motor del robot intenta reproducir aquella fuerza. Y el operador simula la estimulación física del objeto.

Con la posibilidad de trabajar en un ambiente virtual y reproducir a un paciente virtual. El robot necesita una gráfica de sus salidas para provocar una imagen virtual

Por ejemplo para simular la operación de laparoscopia necesitamos un número determinado de grados de libertad,.

Existen otras aplicaciones en las que la interfaz resulta importante: La telemanipulación quirúrgica. En el caso de telemanipulación el sistema está compuesto por dos módulos:

- un sistema master pasivo
- un sistema esclavo activo

El cirujano mueve el instrumento hacia el robot y activa los sensores en su posición. Atraviesa este último y es capaz de calcular la posición de los sensores.

Otro robot activo, el esclavo, se posiciona en el espacio copiando y moviendo lo impuesto por el operador del robot master pasivo.

ventajas

- 1.El hecho de poder operar a distancia
- 2.Posibilidad de eliminar un evento de temblor en la mano del cirujano

Hay que aumentar notablemente la sensibilidad de la intervención, especialmente en la cirugía delicada como la cirugía oftalmológica o la neurocirugía.

La tecnología empleada es muy complicada respecto a la telemanipulación tradicional, pero la ventaja es que es más manejable y sensible. Cuando se intenta completar una operación, es importante la sensibilidad. Un mínimo error puede resultar muy grave por eso la sensibilidad y precisión tocan un papel importante.

La telemanipulación se utiliza para proveer al cirujano una serie de información útil. A través del robot esclavo, el sensor proporciona las sensaciones táctiles de la mano. De esta manera es posible guiar al cirujano a la hora de la operación exponiéndolo con el utensilio quirúrgico y siguiendo la trayectoria correspondiente.

2.2-TELEMANIPULACION ROBOTICA.

Un ejemplo es el *Da Vinci Surgical System*, un producto que sirve para seguir interviniendo en laparoscopia mediante tele manipulación



foto 1 *Da Vinci*



foto2 *Zeus*

Zeus proporciona imágenes tridimensionales de la zona a operar. El endoscopio, de 12 mm de diámetro, tiene incorporada una tele cámara de dos imágenes estereoscópicas de la zona de interés. Esta visión 3d, puede observar sin dificultad un detalle amplio de una parte importante a analizar, no es el caso en visión 2D ya que no se aprecia bien.

Zeus también es un utensilio encargado para pequeñas incisiones, entre otras intervenciones.

A través de la tele manipulación el movimiento del utensilio interno es de manejo fácil. Por ejemplo el quirúrgico mueve intuitivamente el utensilio y el robot esclavo se ocupa de rotar manteniendo como punto de instantánea rotación el punto de incisión dado. El correspondiente invento se ejecuta sin robot; el cirujano lleva una palanca para poner el cabezal en el punto adecuado.

El brazo esclavo esta provisto de un sensor de fuerza que abastece seis componentes.

Tanto *Da Vinci* como *Zeus* son productos de la *Computer Motion Inc.*

Estos dos sistemas se diferencian en la salida grafica del cirujano de diferentes dimensiones. Mientras *Da Vinci* hace uso de un ambiente totalmente tridimensional ya que el campo de visión del cirujano esta totalmente ocupado por la imagen virtual, Zeus proporciona una imagen 2D amplia y eficiente.

Otra diferencia es el numero de grados de libertad entre ellos y que el sistema *Da Vinci* es más manejable pero se necesita mas pulso para su manipulación.

La interfaz debe ser lo más ligero posible, dado que el cirujano percibe su inercia durante el movimiento que va ha sobrepasar al documento de fuerza generada de la interfaz.

Además hay un problema de seguridad: mientras un robot industrial tiene una barrera electrónica para impedir el acceso humano, en el espacio del laboratorio, el robot esta en directo contacto con el operador, o sea ,no tiene la protección que debería tener , aunque este trabaje a velocidades muy bajas siempre puede ocasionar una lesión.

El problema mas importante lo producen las interferencias electromagnéticas entre instrumentos que pueden ocasionar variaciones importantes.

2.3-SIMULACION



SIMULADORES

foto 3

foto4

Es necesario una parte de simulación para ayudar al medico . La destreza es importante para realizar el estudio correcto del paciente.

Estos simuladores se utilizan para diversas simulaciones medicas. En la foto 3 se aprecia el inserción de una aguja en la cefalea de un paciente que en este caso es un bebé, y en la foto 4 se puede observar la simulación de una endoscopia.

Estos sistemas producen una sensación real de gran ayuda para el medico a la hora de tomar decisiones.

En modalidad virtual a diferencia de la tele manipulación existen nuevas problemáticas a tener en consideración: El interfaz debe reproducir generalmente los cálculos generados a través del software virtual. El calculo de la fuerza de interacción(si es alta puede producir deformación) entre objetos utilizados por el robot viene efectuado por el código del software. El calculo se efectúa en tiempo real, y el algoritmo empleado debe ser optimizado para las diferentes ejecuciones.

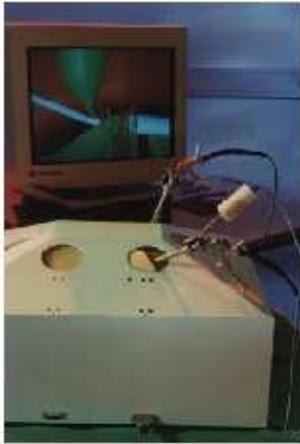


FOTO 5

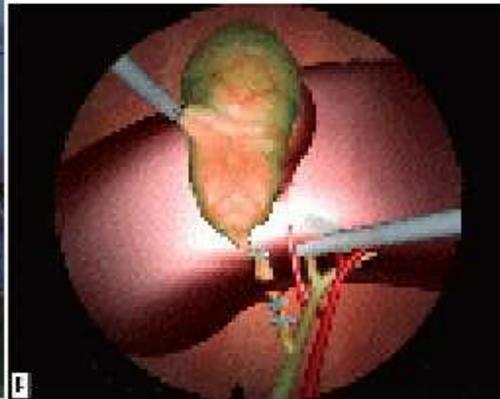


FOTO 6

En la foto 5 y 6 se observa un software tridimensional predispuesto por la visión estereoscópica típica de un sistema inmerso (elemento virtual), un módulo real elástico dinámico para valorar la deformación de los objetos y generar la forma virtual de la interfaz con el master. El último módulo está integrado con una interfaz para realizar intervenciones simuladas de cirugía endoscópica.

2.4-REHABILITACION.

La rehabilitación es otro sector donde la robótica médica está todavía en una fase de búsqueda académica. Un ejemplo es el estudio sobre un operador realizado sobre el sistema nervioso y se puede monitorizar y mejorar.

Combinando el concepto de tele rehabilitación con el concepto de interfaz se puede desarrollar un verdadero diagnóstico para una prospera mejora del paciente.

Un ejemplo de utensilio de rehabilitación sería el guante *Rutgers Master*.

El control de este guante se realiza mediante PC, de tal manera que desde este se pueden enviar las órdenes que se deseen realizar sobre la mano del paciente. El sistema puede registrar el movimiento de la mano y la fuerza ejercitando al paciente de una manera progresiva y monitorizada.

La ventaja de este sistema es que el paciente puede permanecer en casa, manteniéndose en contacto con el centro o clínica a través del PC.

En la foto 7 se puede observar el guante a cuatro grados de libertad. Los movimientos del paciente son registrados en 4 *encoders* lineales más otros 4 *encoders* rotativos. De esta manera es posible conocer la posición de la punta de los 4 dedos respecto a la mano. En la foto 8 se puede observar la imagen virtual

de la mano del paciente, que estudiando su movimiento puede ser de gran utilidad para completar su diagnóstico.



foto 7
Rutgers Master

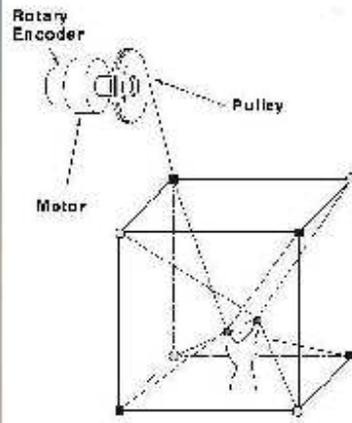


foto 8

El interfaz emplea y muestra una estructura cúbica en la foto 8 sobre la cual se acomoda otro motor. De esta manera es posible generar una fuerza virtual ocasionada por el dedo. La posición del dedo será calculada a partir de los 8 *encoders* mediante la cinemática directa implementada por el software.

El paciente puede ejercitarse en la presa de objeto simple y notar que este sistema se utiliza para transmitir fuerza: la transmisión del cable presenta inercia, elevada rigidez (ya que la estructura es paralela), y condición de máxima seguridad para paciente.

A diferencia de una estructura robotizada rígida, la estructura flexible es más fiable en cuanto a garantizar una posible fractura no deseada de algún componente o incluso de una zona del paciente.

2.5. INVESTIGACION

La Universidad de Padova ha estado realizando dos interfaces: El interfaz apto a 3 grados de libertad y otro a 5 grados de libertad.

2.5.1 Interfaz apto a 3 Gdl

En este, el de 3 Gdl, el **elemento terminal** es constituido por un disco circular que transmite las vueltas.(foto 9) La otra extremidad es envuelta entorno a 4 poleas accionando los 4 micro motores de corriente continua. El radio de la polea es llano al radio del disco; esto simplifica notablemente el calculo de la cinemática directa.

La particular geometría de la estructura consiste en generar una fuerza y un momento de valor apreciable en la parte deseada del entorno de trabajo. Otra ventaja de esta configuración es la baja inercia, la elevada rigidez que provoca la estructura sea mas estable y se controle mejor el peso. La única inercia existente es aquella que provoca la polea y los diez rotores del motor eléctrico. También hay que decir que la fuerza de tracción es mucho mayor a la fuerza de compresión ya que solo se puede controlar esta tracción(4 motores) de los actuadores.

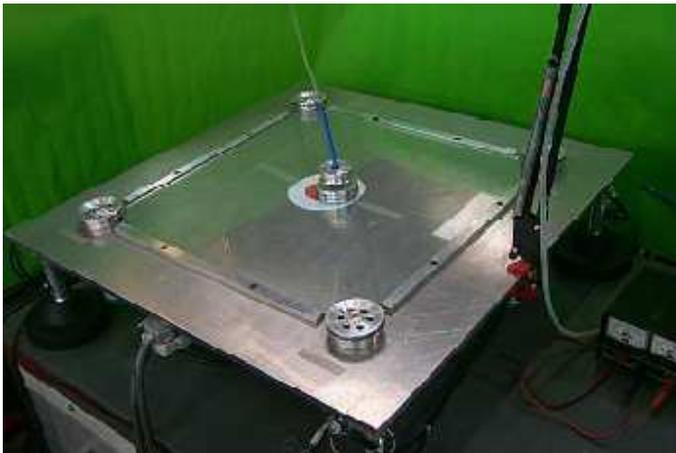


Foto 9 interfaz aptiche a 3Gdl

El sistema de control esta basado en una arquitectura *VME* y sobre un sistema operativo *real time VxWorks*, ya que permite actualizar el valor de la fuerza virtual a un a frecuencia de 5KHz. En este modo es posible realizar ambiente virtual con objeto de rigidez del orden de alguna décima de N/m.

2.5.2 Interfaz apto a 5 Gdl

La interfaz a 5 grados de libertad utiliza los mismos principios que el de 3 Gdl. El **elemento terminal** esta constituido por un utensilio quirúrgico similar a una pluma.



Foto 10 Interfaz apto a 5 Gdl

En la foto 10 se puede observar la composición de interfaz a 5Gdl.

Cada hueco esta envuelto de una polea accionada por un micro motor en DC provisto de un *encoder* incremental.

La posición y la orientación del **elemento terminal** en el espacio se pede considerar cinemática directa. A partir de la distancia entre las dos extremidades del utensilio se puede calcular el valor final del dedo mediante el *encoder*. Esta distancia es proporcional a dicho valor.

Hay que notar que desde el punto de vista de la generación del sistema tiene 5 grados de libertad. Y utiliza 6 motores que mediante una sonda proporcionan un momento en el eje del utensilio. El tele manipulador tiene una simetría cilíndrica, y si tuviera un grado mas de libertad su sistema de control seria mas optimo.

El interfaz esta ideado como instrumento de vibración para el estudio de la fiabilidad de una intervención de cirugía espinal en tele operación. En particular, se trata de insertar una acción circular para corregir la columna vertebral o componer una fractura. Actualmente esta composición se efectúa manualmente.

Componer una fractura conlleva un riesgo importante debido a la elevada precisión de la que se ha de disponer, esto provoca que la intervención con ayuda del utensilio sea parcial, exponiendo otras tareas manualmente.

Si por ejemplo, si la intervención fuese la ejecución de una obertura de la dimensión entorno al mm, es evidente la precisión que se necesita para ejercerla con una cierta tolerancia deseada. Se tolera un margen de error mínimo tanto en su posición, en su orientación, en el eje de la obertura. Resulta muy difícil todo este proceso.

Por último hay que decir que la interfaz a 5 Gdl es mucho más estable, tiene un sistema de control mejorado, mayor rigidez (rigidez pasiva 30 N/m), un posible modo virtual, y un sistema de visión para el control de la información necesaria de la fractura del individuo.

2.6. CONCLUSIÓN ROBOTICA MEDICA

Estos interfaces son tecnológicamente un gran adelanto para la robótica médica tanto en la cirugía robotizada como en la rehabilitación.

Construyeron y probaron un prototipo maestro el cual es una gran innovación en el campo de la cirugía tele robotizada.

Hoy en día se investiga para intentar una mejoría en los próximos años tanto en la robótica médica como en los campos de robótica.

Bibliografía

Página web

http://usuarios.lycos.es/chiqui98/ISS/Canadiam_11.htm

www.google.com

Robótica médica.

Robótica espacial.

Robótica Submarina

OBJETIVOS

(a) Trabajo con lenguaje ameno y con diversas fotos e ilustraciones, para su lectura entretenida.

(b) Enfoque básico y sustancial de la Robótica Submarina.

INDICE

<i>0.INTRODUCCIÓN</i>	1	
<i>1. CLASES DE ROBOTS SUBMARINOS</i>		
UUV (Unmanned Underwater Vehicles)	2	
ROV (Remotely Operated Vehicles)		2
AUV (Autonomous Underwater Vehicles)	3	
<i>2. PAUTAS DE DISEÑO DE UN ROV</i>		
2.1 Interacción medio-materiales	3	
2.2 Recortes de mecánica	5	
2.3 Electricidad y comunicaciones en ROV	7	
2.4 El control de los ROV	9	
<i>3. ROVs COMERCIALES</i>		
3.1 ROVs de inspección	12	
3.2 ROVs de bastidor abierto	16	
3.3 ROVs clase de trabajo	20	
3.4 Manipuladores comerciales para ROV	23	
<i>4. PUESTA EN MARCHA DEL ROV</i>		
.TMS	24	
. Vuelo libre	26	

0. Introducción

La robótica aplicada al medio acuático, nace con el propósito de proporcionar la accesibilidad al hombre, en medios hostiles o imposibles para el organismo humano. Factores como la presión producida por la columna de agua, la temperatura a determinadas profundidades o la más absoluta oscuridad del fondo marino, hacen que se desarrolle el ingenio humano en la pos de poder trabajar en estos medios imposibles.



En el campo acuático, la robótica se ha ido desarrollando poco a poco y hoy en día, pues tampoco es que haya habido un desarrollo considerable. Vamos a darnos un paseo por las inmersiones del hombre en el difícil medio acuático :

- . *Del siglo IX A.C.* se tienen bajorrelieves de buzos con odres llenos de aire (Museo Británico)

- . *En Grecia sobre el 460 A.C.* el rey Xerxes tenía a su disposición a buzos, para sacar tesoros.

- . El *primer artilugio submarino* utilizado en nuestro país, fue una especie de campana, que se utilizó en las aguas toledanas del Tajo allá *por el 1538* y en presencia de Carlos V y más de 10000 espectadores.

- . Pero todas las campanas desarrolladas por entonces, no habían desarrollado ningún sistema automático para la entrada de aire fresco (de esta forma se aguanta más tiempo adentro de la campana), hasta que *en 1690 Edmund Halley* dio el gran salto, sumergiéndose hora y media a 18 metros de profundidad. Su campana tenía un tubo de cuero empapado en cera u aceite, que se comunicaba con la superficie a través de un barril. A la entrada de la campana, había una válvula que dejaba pasar el aire.

- . *En el año 1943* Jacques **Cousteau** y el ingeniero **Gagnan** desarrollan una válvula reductora de demanda completamente automática.

- . El **primer ROV** (vehículo gobernado por un cordón desde la superficie y sin tripulantes) fue desarrollado por Dimitri **Rebikoff** *en el año 1953*. Era **conocido como Poodle**

- . *En el año 1966*, los americanos de la US Naval con el roV **Curv**, rescatan una bomba atómica del Atlántico.

- . De 1973-1977 se desarrollan los sistemas de **computación** para el control de los roV.

- . *De 1977 a nuestros días* el desarrollo tecnológico en este campo de la robótica ha ido a paso lento y hoy en día tenemos robots que pueden bajar a 3000 metros de profundidad y algunos de ellos pueden ser controlados con lógica secuencial (PLC)

En los puntos posteriores haremos una introducción a los diferentes robots submarinos y veremos las pautas de diseño de un ROV, que es la clase de robot que se emplea en los trabajos submarinos.

1. Clases de robots submarinos

En este punto veremos las tres clases de robots submarinos que existen hoy en día.
UUV(Unmanned Underwater Vehicles):

Se trata de "submarinos no tripulados" **gobernados por ultrasonido o** por medio de **ondas electromagnéticas**. Estos robots están muy limitados, ya que las ondas de ultrasonido no van bien para lugares orográficamente canvientes y la comunicación electromagnética tiene un reducido ancho de banda para este tipo de operaciones (restricción de canales de comunicación). Aún así la comunicación radio tiene mucho más juego a la hora del control del robot. En la **figura 2** tenemos un ejemplo de un robot UUV



figura 2.

ROV(Remotely Operated Vehicles):

En estos "submarinos no tripulados" tanto el **control** como el suministro de **energía**, se realiza **a través de un cable umbilical**, por lo tanto, el cerebro del robot esta en la superficie. Tienen la pega de que se necesita gran infraestructura para su puesta en marcha, pero la gran ventaja de que son los robots submarinos con más potencia y mayor **capacidad de trabajo**. Este tipo de robots, serían los encargados de tapar las grietas del Prestige, o los encargados de efectuar algún tipo de rescate en aguas profundas (pueden bajar hasta 3000 m). Es el robot submarino que tiene la estructura de control más parecida a los robots industriales. En este trabajo nos centraremos en este tipo de robots. En la **figura 3** tenemos el ROV Diablo de la empresa Hydrovision.



figura 3

AUV(Autonomous Underwater Vehicles):

Su funcionamiento sigue las pautas de un software ó programa. Estos robots se dejan libres en el agua, para su actuación automática. Una vez que el robot a ejecutado su software, vuelve al punto de la superficie determinado por el programa. Estos robots están limitados al desarrollo de la inteligencia artificial. En la **figura 4** tenemos el AUV Hylands.



figura 4

2. Pautas de diseño de un ROV

A la hora de hacer el diseño del dispositivo que sea, hay que tener en cuenta la funcionalidad y el medio del dispositivo. En la robótica esta funcionalidad puede ser compleja o muy sencilla. Aún siendo lo más sencilla posible, la complejidad es elevada porque intervienen aspectos mecánicos, eléctricos, informáticos, de control ... En el medio acuático hay que tener en cuenta magnitudes como la presión, densidad del agua, corrosión, estancamiento, etc... En este punto veremos en líneas generales hacia donde tienden las características de diseño de un robot submarino, centrandó nuestro estudio en los ROV.

2.1 Interacción medio-materiales

Cuando hablamos de materiales, tenemos que hablar de materiales resistentes a compresión y a la corrosión. Se puede decir que la mayoría de los ROV están compuestos por fibra de vidrio, acero inoxidable y aluminio.

Las **resinas de poliéster** reforzadas con **fibra de vidrio** se caracterizan por su estanqueidad y su resistencia estructural, por lo tanto es un material idóneo para la fabricación de robots submarinos. En definitiva, material con gran resistencia mecánica y

química, no afectando la corrosión externa ni interna. Material térmicamente aislante. Resistencia tracción / densidad superior a la del acero en la dirección de la fibra, buenas propiedades dielécticas, débil conductividad térmica ... Con números se puede demostrar el refuerzo de la fibra de vidrio.

Fibra de vidrio	
Resistencia Compresión	2100 kg / cm
Resistencia Tracción	630 kg / cm
Resistencia dieléctrica perpendicular	400 V / 0.025 mm

La **corrosión** es la oxidación del material provocando su **degradación** y por lo tanto su destrucción. El mar es un ambiente muy corrosivo, con lo que tenemos que proteger los materiales de este fenómeno natural, si no queremos quedarnos sin el "esqueleto" del dispositivo submarino. Las técnicas para esta protección pasan por **pinturas** preparadas, plásticos, grasas o en materiales metálicos la **protección galvánica**.

La **protección galvánica** se basa en la unión de dos metales, donde el más activo (químicamente hablando) de los dos metales, protege al menos activo de la corrosión. El material menos activo, es el que conforma la estructura del ROV y el más activo sería el baño que se le da al no activo para su protección. Así al acero, se le suele dar un baño de zinc, para su protección.

<i>Serie galvánica para metales en agua de mar</i>
MAGNESIO
ALEACIONES DE MAGNESIO
ZINC
ALEACIONES DE ALUMINIO
ACERO GALVANIZADO (recubierto de zinc)
HIERRO DE FUNDICIÓN
ACERO
PLOMO
ESTAÑO
COBRE
LATÓN
BRONCE
PLATA
ORO
PLATINO

2.2 RECORTES DE MECÁNICA

El primer concepto importante, a la hora de diseñar un robot submarino, es que el peso del mismo, tiene que estar cerca del elemento neutro ó cerca de la flotabilidad. Por lo

tanto, **la densidad del vehículo será un poco superior a la del agua**. En este aspecto intervienen formas geométricas y distribuciones de peso, en las que no vamos a entrar. Otra concepto importante, ligado al concepto de la densidad, es la propulsión. Si se diseña un vehículo cerca del elemento neutro, es para que la propulsión del vehículo sea factible. Básicamente al hablar de **propulsión** podemos hablar de **hélices**.

De hélices hay de diferentes materiales y tipos, y las especificaciones más importantes serían :

La hélice aspira el agua por la parte frontal para impulsarla hacia atrás. Las medidas importantes de una hélice son:

Diámetro : es el diámetro que genera la hélice al girar.

Paso : es la distancia que se movería la hélice si se roscara en un medio sólido.

Nº de palas : es el nº de elementos de la hélice. Tradicionalmente se mide en pulgadas (1 pulgada = 25.4 mm).

A menos palas en la hélice conseguiremos un vehículo más eficaz (energéticamente hablando), pero a más palas el vehículo será más estable. Por lo que si queremos **movimientos lentos y controlados el nº de palas será importante**. (figura 5)

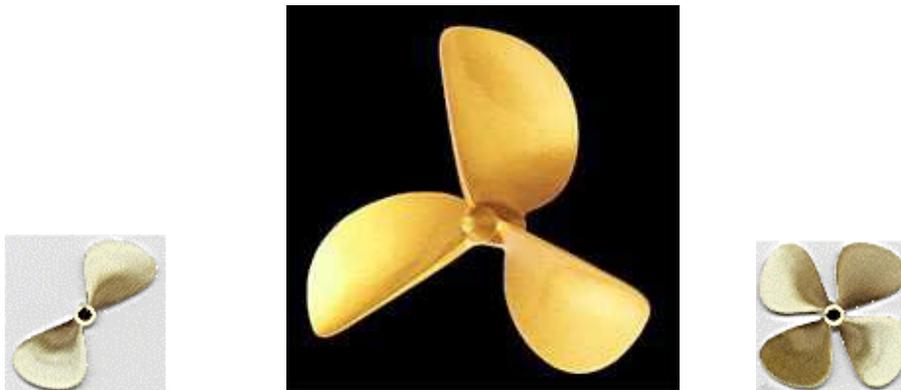


figura 5.

Para un **avance rápido**, interesan hélices con un **buen paso** y para un buen **empuje** lo que interesa es **aumentar el diámetro**. Las hélices pueden ser de madera, plástico, aleaciones de aluminio o acero inoxidable. Las de aleaciones de aluminio tienen que ir con una pintura especial para la corrosión salina. Las de aleación de aluminio son unas cinco veces más frágiles que las de acero inoxidable. Las de plástico son muy baratas y muy utilizadas ya que también son muy resistentes y aguantan muy bien la corrosión.

En un repaso de Mecánica fundamental, la ecuación de Lagrange viene a relacionar la energía cinética y potencial. Esta energía lagrangiana $L=T-V$ donde T (energía cinética del vehículo) y V (energía potencial) nos da una ley básica y a la vez lógica para hacer cálculos de energías y empujes, y es que si tomamos como referencia la línea de superficie y

queremos ascender h metros, la energía mínima y teórica que tendremos que desarrollar será mayor al producto de su masa (m), distancia (h) y gravedad (g). $L > mgh$. Pero esto es demasiado teórica y dista un poco de la dinámica de los robots submarinos.

¿Qué hay que tener en cuenta a la hora de hacer los cálculos de empuje? Siendo estrictos, las corrientes en la superficie producidas por los vientos, por los cambios de temperatura y salinidad, la fuerza de Coriolis o las cambiantes mareas ... Pero nos vamos a quedar, con que la ecuación vectorial de empuje de un ROV, se puede modelar por $\tau = b(v, n)$, donde tenemos relacionadas las velocidades de avance del ROV (v) y el nº de vueltas de la hélice (n). Para cada uno de los movimientos que define la ecuación vectorial anterior (seis grados de libertad), se puede dar esta ecuación de empuje:

$$T = \rho * D^4 * K_t * (J_o) * |n| * n$$

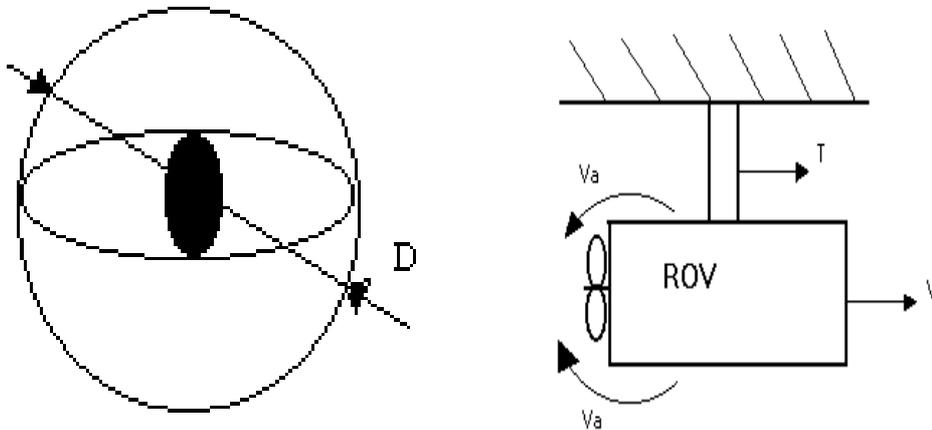


figura 6

En la figura 6 tenemos representados los parámetros necesarios para determinar la fuerza de empuje de un ROV.

- donde D = diámetro de la hélice
- n = vueltas hélice
- ρ = densidad agua
- Va = velocidad avance de la hélice
- Kt = coef. de empuje
- $J_o = V_a / n * D = n^\circ$ avance

Los movimientos de cualquier ROV, bien pueden estar representados por los ejes de referencia que tenemos en la figura 7, junto con la gráfica que relaciona el coef. de empuje (Kt) y el nº de avance (Jo) según la velocidad de avance (Va) y el nº de vueltas (n).

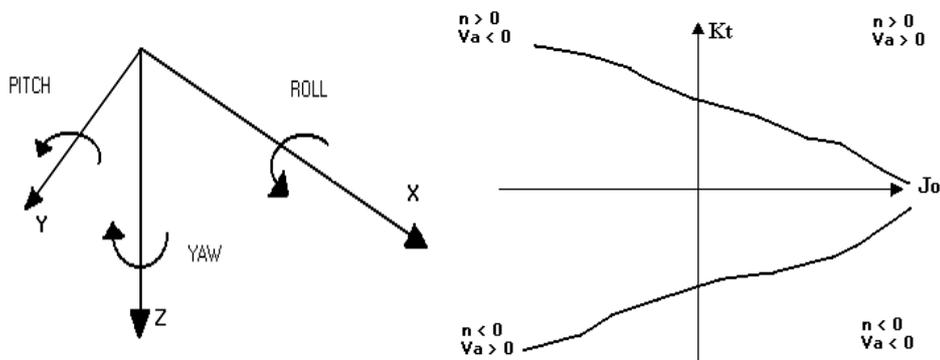


figura 7

En la gráfica que relaciona la velocidad de avance y el número de vueltas, se puede observar :

(a) Al aumentar el nº de vueltas y no avanzar tanto, aumenta el coef. de empuje, siendo el nº de avance mayor pero con signo opuesto.

(b) Al aumentar la velocidad de avance y el nº de vueltas, disminuye el coef. de empuje, pero aumenta el nº de avance.

En consecuencia, nos interesara más o menos de una cosa u otra ateniéndonos al trabajo que tenga que desarrollar el ROV. Para condiciones prácticas de operación $V_a = (1-w)V$ donde w oscila **entre (0.1 , 0.4)** (relación velocidad de avance y lineal).

2.3 ELECTRICIDAD Y COMUNICACIONES EN EL ROV

Sin lugar a dudas, la alimentación y la comunicación con el ROV es vital para un trabajo eficaz. Hoy en día tenemos que los cables del ROV llevan la parte de potencia y comunicación en un único cable. Empresas como Cortland Fibron ó NSW fabrican estos cables.

Las **comunicaciones** entre la superficie y el ROV con un control guiado desde un contenedor de la superficie, se suele hacer a través de **fibra óptica y cables coaxiales** (ver centro secciones figura 8), la **alimentación** del ROV se efectua con **cables convencionales** de cobre ó aluminio, que pueden estar alimentados a una **tensión superior o los 3500 V** (para ahorrar sección y transmitir potencia). La **estructura exterior** del cable suele estar recubierto con un armazón de **metal**

protegido galvánicamente (acero inoxidable) **junto con** una capa de **fibra sintética**. Con esto le damos al cable consistencia frente a las tensiones que tiene que soportar. Aunque hay que decir, que hoy en día se están utilizando materiales como los polímeros reticulados de alto grado y alta densidad, los termoplásticos y los hilos sintéticos- que incrementan la resistencia y fiabilidad de sus cables, reduciendo su tamaño, peso y haciéndolos más manejables.



figura 8

En la figura 8 tenemos dos secciones de cable umbilical para ROV, la primera combinación se utiliza para los ROV de la clase de trabajo, por lo tanto la estructura de su envolvente esta desarrollado para aguantar grandes esfuerzos. La segunda sección (envolvente sintética amarilla), no tiene una estructura tan rígida como la primera sección y esta desarrollado para trabajos cercanos a la superficie.

Las características típicas de este tipo de cables para ROV clase de trabajo (+3000 m de profundidad) se pueden resumir en :

- (a) Tensión de alimentación de **(3KV a 6KV)**
- (b) Transmisión de datos digitales (fibra óptica ó cable convencional)
- (c) Transmisión de datos analógicos (a través de cable coaxial con compensación del efecto capacitivo)
- (d) Malla ó estructura de refuerzo (aleaciones, fibras sintéticas . . .)
- (e) **Diámetro de 38 a 41 mm** (referencia a diámetro total)
- (f) Peso en el agua del mar, de **5Kg / Km a 3400Kg / Km**
- (g) Mínimo esfuerzo de ruptura (de **80 KN a 500 KN**)

2.4 EL CONTROL DE LOS ROV

Los algoritmos de **control** utilizados en los **ROV** se basan en técnicas de **Lyapunov**, sistemas **SISO** (single input single output) o técnicas más recientes (1992) desarrolladas por **Healey y Marco** (proponen dividir la ecuación del movimiento de 6 grados de libertad en tres subsistemas, velocidad, control e inmersión). En este trabajo se vera algún método lineal (aproximaciones) ya que lógicamente, es un estudio mucho más simple.

El control de los ROVs propiamente dicho, pudo empezar con el **control** digital basado en un **PC** (486 por ejemplo), hoy en día para implementar los algoritmos de control, se están utilizando **PLCs** (autómatas programables), en parte por la robustez de los mismos. Pero centrémonos en los algoritmos de control, sin importar como los implementamos :

Un ejemplo de algoritmo de control, es el que se representa en la figura 9 , utilizado para controlar el robot submarino EAVE-EAST, de la Universidad de New-Hampshire en el año 1985.

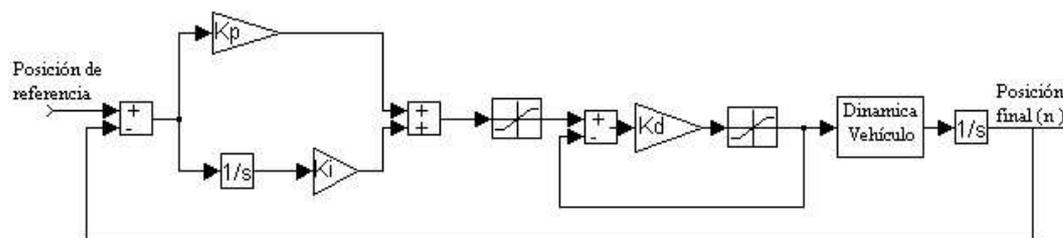
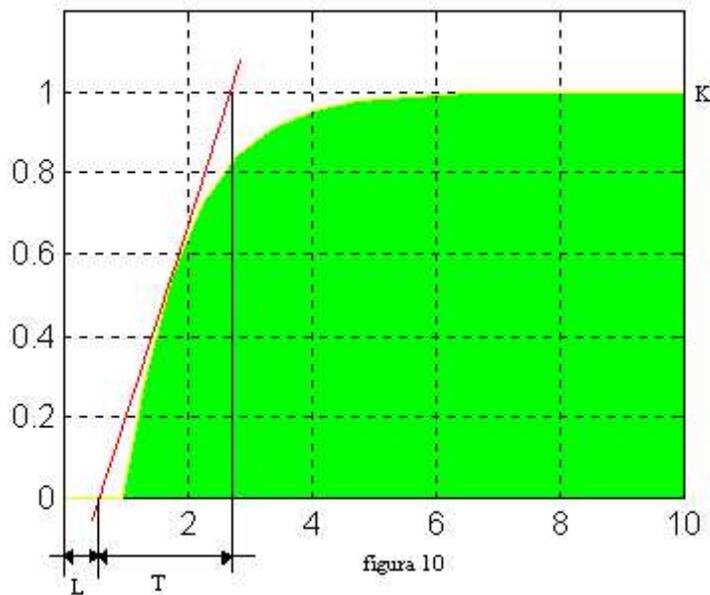


figura 9

El algoritmo de EAVE-EAST es un algoritmo en velocidad con la **configuración en cascada**. Gracias a esta configuración podemos minimizar las perturbaciones y las no linealidades. Este algoritmo se podría implementar en un PC ó en un autómeta.

El ROV Phantom, se basa en un control digital. Este control se aplica a las hélices del mismo, que están controladas por un motor de corriente continua. Este tipo de **motor** se puede modelar como un **sistema de primer orden** $G(s) = (K / (1 + sT)) * \exp(-sL)$, donde L es el retardo puro, K la ganancia estática y T la constante de tiempo.

Por lo tanto, para diseñar el control de este ROV ó de cualquier dispositivo, lo primero que tenemos que hacer, es sacar su modelo ó respuesta temporal a un impulso, y a partir de aquí, sacamos los parámetros. Esto de sacar el modelo, es lo que hemos echo para el motor de continua que gobierna la hélice, y la **respuesta temporal** de la velocidad de la misma, esta representado en la figura 10.

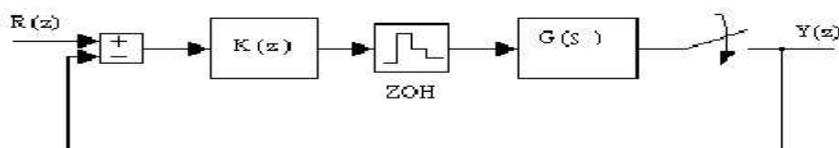


Hasta ahora, tenemos los **parámetros del motor** que vamos a utilizar para el gobierno de la hélice, ahora faltaría sacar los parámetros de controlador que vamos a utilizar para el control de la hélice. Y en el caso del **Phanton**, será un **control PI**.

Estos parámetros vamos a sacarlos a partir del criterio de Ziegler-Nichols (1942) que es un criterio que suele funcionar bien para cambios de carga y consigna, teniendo en cuenta que los parámetros del motor tienen que estar entre $0.1 \leq (L / T) \leq 1$.

Del estudio Z-N para el control PI sale $y = 0.9 (L / T) \exp(-1)$ donde para el control proporcional $y = K * K_p \Rightarrow$ de aquí sacamos K_p y ... el control integral $y = T / T_i \Rightarrow$ aquí tenemos T_i .

Una vez que tenemos todos los parámetros, resta montar el lazo de control. Un lazo de control digital sencillo, podría ser el de la figura 11 .



Donde $K(z)$ es el controlador PI digital, y $G(s)$ es la planta del sistema, que sería el motor junto con su dinámica. Seguidamente tendríamos un muestreador (dibujo del interruptor) con un periodo de muestreo T . Este muestreador, no es otra cosa más que un convertidor analógico / digital, con el periodo de muestreo correspondiente. El mantenedor ZOH por otra parte, representa un convertidor digital / analógico, para poder atacar la planta.

El controlador digital $K(z) = (K_i Tz) / (z - 1) + K_p$

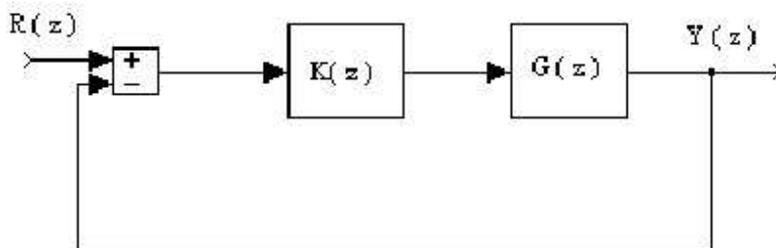
Y la **planta discretizada** junto con sus parámetros, quedaría :

$$G(z) = 725.2848 / (z - 0.722)$$

Un ejemplo de **controlador** que se podría aplicar al Phantom, una vez que tenemos los parámetros del controlador, podría ser :

$$K(z) = (0.000609z - 0.56z) / (z - 1)$$

Es decir, el esquema simplificado sería tan sencillo como el de la figura 12 .



3. ROVs comerciales

La oferta comercial es amplia, pero nos vamos a centrar en las tres clases de ROV clásicamente comerciales.

3.1 ROVs de inspección:

Se utilizan para inspección y documentación. Capacidad de carga limitada y su manipulador esta diseñado para tareas muy simples.

HYBALL (Hydrovision) : ROV con chasis cámara para el transporte de hasta 3 cámaras como la que se observa en la figura 15.

Características	Especificaciones
<i>Alimentación</i>	110 a 240 V monofásico alterna 50/60 Hz , 2.5Kw máx.
<i>Velocidad</i>	Velocidad máxima de 2 nudos a través
<i>Profundidad de trabajo</i>	Hasta 1000 pies (300 m)
<i>Carga útil</i>	9lbs. (4.5 kg)
<i>Hélices</i>	4 hélices : 2 horizontales y 2 verticales alimentadas con motor a 24V d.c desarrollan hasta 380W (1/2 hp) con sus 5 pulgadas de diámetro.
<i>Iluminación</i>	4 luces ajustables individualmente de 75W cada una : 2 luces fijas y las otras 2 en el chásis de la cámara.
<i>Sensores</i>	Profundidad, dirección, posición camara, detector de entrada de agua y protección eléctrica
<i>Control</i>	La imagen de la cámara llega con datos como la profundidad, tiempo, hora y el robot se puede controlar a través de un jostick ó un teclado táctil.
<i>Cable ó cordon umbilical</i>	1320ft (400 m), 0.45ins. (11.5 mm), peso en el agua de 1.26 kg/100m, mínima carga de ruptura de 500 Kgf
<i>Dimensiones</i>	Longitud : 650 mm Ancho : 535 mm Altura : 565 mm



figura 13

En la figura 13 tenemos el ROV de inspección Hyball.



figura 14

En la figura 14 tenemos un detalle de la pantalla de control junto con su joystick y su teclado táctil

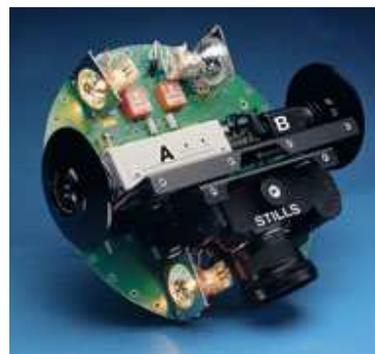


figura 15

OFFSHORE HYBALL (Hydrovision) : ROV inmediatamente sucesor del Hyball, tiene más potencia, incorpora un pequeño manipulador y un sonar como las características más importantes, que le hacen ser superior.

Características	Especificaciones
<i>Alimentación</i>	240 V a 50/60 Hz a.c Se recomienda por unidad generador 7 KVA
<i>Velocidad</i>	Velocidad máxima de 2.5 nudos a través
<i>Profundidad</i>	Profundidad máxima de trabajo 1000 pies (300 m)
<i>Carga útil</i>	14 lbs (6.5 Kg)
<i>Hélices</i>	4 hélices : 2 principales que hacen posible los movimientos longitudinales y de rotación y las 2 hélices restantes, confieren los movimientos verticales y laterales. Cada hélice es de 5 pulgadas de diámetro, 450W y están accionadas por un motor de continua a 45V.
<i>Iluminación</i>	4 focos de cuarzo halógeno de 75W. 2 focos fijos, y los otros 2 en el bastidor de la cámara.
<i>Sensores</i>	Profundidad, entrada de agua, dirección(compas magnético), posición de la cámara y protección eléctrica.
<i>Control</i>	Jostick de tres ejes y mando de control de mano desde la superficie, para los movimientos. Las instrucciones de puesta en marcha y el control genérico es a partir de una botonera membrana.
<i>Cable ó cordón umbilical</i>	Longitud máxima de 500m, diámetro de 11.5mm, peso en el agua de 1.26Kg/100m, mínima carga de ruptura de 500Kgf.
<i>Dimensiones</i>	Anchura : 770mm Altura : 575mm Peso : 60Kg



figura 16

En la figura 16 tenemos representado el ROV Offshore Hyball, de Hydrovision.



figura 17

En la figura 17 tenemos representados los focos del ROV Offshore

3.2 *ROVs de bastidor abierto:* ROVs con gran capacidad de carga, velocidad y gran versatilidad a las hora de incorporar equipación ó sistemas auxiliares. Más fiables y fáciles de mantener, incorporan un sonar avanzado y pueden llevar perfiladores ó manipuladores.

SEAEYE Tiger (Hydrovision) : teniendo en cuenta la equipación (sonar) y el que se puede sumergir hasta 1000 m. , hacen que este ROV tenga una gran capacidad de trabajo (reparaciones de tubos submarinos, ...)

Características	Especificaciones
<i>Alimentación</i>	Unidad de alimentación con una entrada trifásica de 380V a 480V a.c.con un consumo de 11KVA.
<i>Profundidad de inmersión</i>	Hasta 1000m. de profundidad
<i>Carga útil</i>	Hasta 32 Kg. de carga útil
<i>Hélices</i>	4 hélices horizontales ; 1 hélice vertical Accionadas por un motor d.c. están controladas por un PID en velocidad.
<i>Iluminación</i>	2 luces individuales de 150 W con control de luminosidad.
<i>Sensores</i>	Sensor de profundidad, compás de navegación y potenciómetro para la inclinación de la cámara.
<i>Control</i>	Control basado en un PC desde la superficie donde la cámara del ROV, recoge las imagenes junto con un indicador de profundidad, inclinación y otros parámetros. También dispone de un controlador tamaño manual, para direccionamiento del ROV.
<i>Peso</i>	150 Kg
<i>Dimensiones</i>	Longitud = 1030 mm Anchura = 590 mm Altura = 700 mm



figura 18

En la figura 18 tenemos representado el ROV de bastidor abierto Seaeeye Tiger.



figura 19

En la figura 19 se muestra el container desde donde se realizad en control, así como la unidad de potencia, que se encuentra en ese mismo container.

Seaeeye Puma (Hydrovision) :

Características	Especificaciones
-----------------	------------------

<i>Alimentación</i>	Unidad de alimentación con entrada trifásica entre 380V a 480V con un consumo de 12.5KVA.
<i>Profundidad</i>	Máxima profundidad de trabajo de 1000m.
<i>Carga útil</i>	Carga útil de 35Kg
<i>Hélices</i>	Hélices accionadas por motores de escobillas en d.c. La configuración son 4 hélices horizontales y 2 verticales y controladas dimensionalmente.
<i>Iluminación</i>	2 canales de 2 lámparas de 150W controlados individualmente. Las lámparas se pueden distribuir individualmente según las condiciones de operación.
<i>Sensores</i>	Sensor de profundidad, sensor de inclinación con control posicional,
<i>Control</i>	Control digital (de 16 bit), unidad de control de superficie (la misma que en el Saeye Tiger) y el mando manual.
<i>Peso</i>	195 Kg.
<i>Dimensiones</i>	Longitud = 1137 mm Anchura = 590 mm; Altura = 750 mm.

En la figura 20 tenemos la pinta de un ROV Saeye Puma.

¡Error! Argumento de modificador no especificado.



figura 20

La unidad de control de mano en un ROV Saeye tiene el aspecto de la foto 21



figura 21

¡Error! Argumento de modificador no especificado.



figura 22

En la figura 22 tenemos el SEAEYE Panther, que sería la una versión más moderna de un ROV de bastidor abierto, del cual no hemos hablado, debido a que tiene características similares, pero es más potente, entre otras cosas porque se puede sumergir hasta los 1500m de profundidad.

ROVs clase de trabajo: muy potentes, tanto en capacidad como en velocidad. Habitualmente presentan una potencia superior a 100Hp, peso aproximado de 3 toneladas, carga útil > 200Kg y una profundidad de trabajo de más de 2000m. Con estas características no es extraño que estos robots se utilicen en instalaciones de plantas petroleras y de gas.

Demon (Hydrovision) : el ROV Demon dispone de un manipulador multifunciones (5 funciones) controlado por posición. Además lleva un bombeador hidráulico, pudiendo capacitarse de un segundo. Incorpora 5 salidas de alimentación y control de cámaras, junto con 3 salidas para sensores/herramientas a 24V d.c. y 2.5A y 4 salidas para la misma función a 110V d.c y 2A.

Características	Especificaciones
<i>Velocidad</i>	>3.5 nudos cuando esta trabajando.
<i>Profundidad de trabajo</i>	Hasta 3000m. de profundidad.
<i>Carga útil</i>	250 Kg.
<i>Hélices</i>	Tres hélices verticales (Curvetech 300) Cuatro hélices vectoriales (Curvetech 380)
<i>Sensores</i>	Sensor de presión y profundidad. Compás, giroscopio, sonar, sensores de pitch y roll.
<i>Control</i>	Sistema de contro basado en PC con todos los diagnósticos del ROV monitorizados (14 pulgadas) en cabina de superficie (con aire acondicionado).
<i>Peso</i>	Alrededor de las 3tm, dependiendo de la profundidad y accesorios.
<i>Dimensiones</i>	Longitud = 2950mm con marco de inspección. Anchura = 1830mm. Altura = aproximadamente 2000mm.

Aspecto del ROV de la clase de trabajo DEMON figura 23



figura 23

En la figura 24 se puede ver el aspecto de la cabina de control del ROV DEMON, que se sitúa en la superficie.



figura 24

Diablo (Hydrovision): como ROV de la clase de trabajo que se trata, dispone de un manipulador multifunciones (hasta 5 funciones), junto con un bombeador hidráulico con capacidad para instalar un segundo. El manipulador dispone de un control de posición. Dispone como en el caso del Demon, de 5 salidas de alimentación y control de cámaras. El ROV también dispone de 3 terminales de alimentación de sensores/herramientas a 24V d.c. y 2.5A junto con 4 terminales de alimentación a 110V d.c. y 2A.

Características	Especificaciones
<i>Velocidad</i>	Velocidad superior a 3.2 nudos.
<i>Profundidad de trabajo</i>	Profundidad máxima de 2000m.
<i>Carga útil</i>	Carga útil de 250 Kg.
<i>Hélices</i>	2 hélices verticales (Curvetech 300) 4 hélices horizontales (Curvetech 380)
<i>Sensores</i>	Sensor de profundidad, compas, giroscopio, sonar, sensores de pitch y roll.
<i>Control</i>	Sistema de control basado en PC, con todos los diagnosticos del ROV monitorizados.
<i>Peso</i>	Alrededor de las 2.8tm, dependiendo de la profundidad y accesorios.

<i>Dimensiones</i>	Longitud = 2650mm (sin marco de inspección), 3100mm (con marco de inspección) Anchura = 2040mm Altura = aproximadamente 1820mm.
--------------------	---



figura 25

En la figura 25 tenemos dos configuraciones diferentes del ROV DIABLO.

3.4 Manipuladores comerciales para ROVs: la empresa de ROVs Hydrovisión, fabrica un manipulador llamado **Mini Manipulador**, consistiendo una unidad hidráulica. De la parte hidráulica, se encarga la empresa Curvetech (bombeo hidráulico, hélices, compensadores de presión,...). En si el Mini Manipulador, es una **unidad hidráulica**, en **versiones de 4 y 5 funciones** tales como:

- . Abrir / cerrar mordaza
- . Girar "muñeca del brazo"
- . Girar y levantar brazo manipulador

El sistema de **control**, se basa en un **microprocesador**, tiene la opción de un cordón cortante (para cortes horizontales y verticales), puede **rotar 360 grados**, es **ligero y robusto** (peso en el aire de 23Kg) y aguanta una máxima presión hidráulica de 68 bar junto con un flujo máximo hidráulico de 1 LPM.

En la figura 26 tenemos una foto de este manipulador.

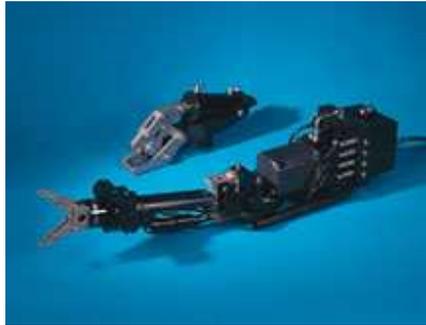


figura 26

3.2 HIDRAULICA EN ROVs COMERCIALES: en el punto *Recortes de mecánica* no se hablo de la hidraulica en si, y hay que reseñar que sobre todo a grandes profundidades, es muy importante tener en cuenta sistemas hidráulicos, ya que con la fuerza creada por una hélice puramente eléctrica, no haremos gran cosa.

Ya hemos visto, que los algunos ROVs, llevan consigo algún manipulador hidraulico, pero esto de la hidraulica no se queda hay. También hemos visto, en las características de los ROVs, que suelen llevar consigo bombeadores. El flujo de litros/minuto, se puede aproximar a partir de la siguiente fórmula:

$$l / \text{min} = (\text{Potencia hidráulica (Kw)} * 1000) / 1.667 * \text{Presión(bar)}$$

4. Puesta en marcha del ROV

Básicamente, aunque hemos hablado de las características de tres clases de ROVs podemos hacer una clasificación de dos clases simplemente.

. La clase de los ROVs de inspección

. La clase de los ROVs de trabajo

La inspección se suele hacer con ROVs pequeños y a pequeñas profundidades, en cambio en la clase de los ROVs de trabajo, se trabaja a grandes profundidades y en condiciones muchas veces adversas. Para estos ROVs (los de trabajo) surgio el sistema TMS (Tether Management Systems) figura 27

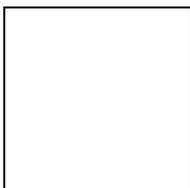


figura 27

Como podemos comprobar, el cable de alimentación y control del ROV, es armado (recubierta de metal) para soportar grandes presiones. En el container de control, tenemos también la unidad de potencia, que alimenta todo el sistema.

Para **grandes profundidades**, donde el cable es una gran carga a la hora de arrastrarlo y donde además se puede romper por la acción de la presión, y con ello perder el ROV, para este caso se utiliza el sistema **TMS** representado en la figura 28

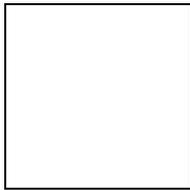


figura 28

Donde el Sombrero de Copa, es la unión entre el cable umbilical reforzado (que baja en línea recta para minimizar el efecto de la presión) y el cable umbilical no reforzado (que es el cable que va a parar al ROV. Además tenemos una jaula, que permite bajar y subir el ROV de forma sencilla.

Para los ROVs de **inspección**, que suelen ser mucho más pequeños y suelen trabajar a profundidades más modestas, se suele utilizar el sistema llamado como **Vuelo Libre**, que también es un sistema mucho más modesto que el TMS (ver figura 29)

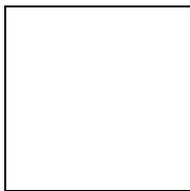


FIGURA 29

En el sistema Vuelo Libre, se puede apreciar la sencillez que caracteriza a la operación, con las distantes partes del sistema que conforma un ROV, separadas. De esta forma se ve claramente la parte de control, alimentación y la máquina sumergible. Hay que decir también que con esta configuración el ROV tiene mayor movilidad, ya que el cable umbilical no está reforzado como en el caso del TMS.

CONCLUSIONES

Dependiendo de la tarea a desarrollar en el fondo marino, tenemos como tres clases de robots submarinos, que se diferencian por la tecnología. Los robots de bajo coste, son ante todo sencillos y muy limitados en la aplicación. Con esto queremos decir que la tecnología en los robots submarinos con alguna capacidad de trabajo, son muy caros y aún con eso, como podemos hablar de profundidades de hasta 3000m. para los de clase de trabajo, hay que decir que las funciones están muy limitadas.

Este trabajo ante todo nos ha dado una visión general de los robots submarinos, donde la búsqueda de información ya ha sido dificultosa, sobre todo en lo que respecta a la estructura y control de estos robots submarinos.

BIBLIOGRAFIA Y PÁGINAS WEB (ROBÓTICA SUBMARINA)

Guidance and Control of Ocean Vehicles, Fossen, T.I. (1994)
Editorial : John Wiley & Sons, New York

www.hydrovision.co.uk

www.marinevision.com