



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN (Internos, Semilla, Inter y Multidisciplinarios, Externos)

Tipo de Proyecto: Multi e Interdisciplinarios **Código Proyecto:** PIMI-15-4

Área del Proyecto : Investigación Aplicada

Línea de Investigación	Departamento
EQUIPOS MEDICOS	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
ELEMENTOS FINITOS CON APLICACIONES	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
MAQUINAS Y MECANISMOS	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
CONTROL AUTOMATICO	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
ROBOTICA Y MECATRONICA	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
INTELIGENCIA ARTIFICIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

1 Proyecto de Investigación

Título :

Control adaptativo basado en inteligencia artificial aplicado a un sistema mecatrónico fundado en un robot paralelo para la diagnosis y rehabilitación.

Resumen del proyecto: (máximo 200 palabras):

El presente proyecto tiene por objetivo desarrollar, validar y controlar un sistema mecatrónico, basado en un robot paralelo, de bajo coste y fácil operación que permita la diagnosis y/o rehabilitación de pacientes con lesiones de rodilla o que hayan sido sometidos a cirugía reparadora. La idea esencial es poder tomar ventaja del conocimiento y experiencia de profesionales médicos muy cualificados, y por ende escasos, para disponer de un sistema mecatrónico que sea capaz de transferir esa experiencia al tratamiento de pacientes. En este proyecto se va a poner énfasis en la portabilidad y fácil operación del sistema, con lo que esa atención sanitaria de calidad se podría acercar al paciente, lo cual evitaría costosos y molestos traslados. Se trata de un proyecto multidisciplinar, donde intervienen el diseño y análisis cinemático y dinámico de robots paralelos, el modelado cinemático y dinámico de partes del cuerpo humano, la integración de ambos modelos mecánico y biomecánico en uno solo que pueda ser empleado en un sistema avanzado de control y finalmente, el uso extensivo de sensores de diversos tipos y su integración en el sistema de control adaptativo basado en inteligencia artificial.

Palabras Clave(4-6) :

robot paralelo, rehabilitación, diagnosis, rehabilitación, control adaptativo, inteligencia artificial

2 Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación

Objetivos (General y Específico):

Las lesiones de rodilla son muy frecuentes en personas jóvenes que practican deporte y en personas de edad debido a la lógica degradación de ese sistema musculo-esquelético tan complejo. Dichas lesiones tienen dos puntos en común:

1. Su correcta diagnosis depende en un grado muy elevado de la pericia y experiencia del personal médico encargado de la misma.
2. La rehabilitación suele ser un proceso que requiere, en muchos casos, del desplazamiento del

paciente al centro hospitalario para someterse a largos tratamientos de fisioterapia. Esto supone molestias para los pacientes, así como un coste muy importante para el sistema sanitario nacional.

En este proyecto se pretende el diseño, construcción y puesta a punto de un sistema mecatrónico de bajo coste, fácil manejo y posible operación a distancia, que permita abordar los dos retos mencionados anteriormente.

Objetivos:

Desarrollar un Laboratorio Bioingeniería del que actualmente no dispone la EPN. Por lo tanto, este proyecto aportará conocimiento sobre el diseño, construcción y control de robots paralelos orientados a aplicaciones biomédicas. El sistema propuesto en este proyecto incluye el empleo de sistemas de captura del movimiento mediante fotogrametría, no disponibles en la EPN, y que son esenciales para investigaciones en el campo de la Biomecánica. Finalmente, este proyecto emplea una variedad de sensores externos (células de carga, electromiografía, etc.) cuya integración en el sistema de control aportará una valiosa experiencia en el campo de la mecatrónica.

Los objetivos del presente proyecto son:

1. Identificar la topología de un robot paralelo capaz de reproducir, con un mínimo de grados de libertad, los movimientos que se requieren para la diagnosis y rehabilitación de lesiones de rodilla. Estos movimientos se habrán definido previamente mediante la asesoría de personal médico cualificado. Se modelará el robot paralelo mediante la convención de Denavit-Hartenberg y obtener las ecuaciones que corresponden a los problemas cinemáticos inverso y directo.
2. Analizar, a partir de las ecuaciones de la cinemática, las características del espacio de trabajo del robot (volumen del espacio, presencia de singularidades, índices de manipulabilidad). Como consecuencia de estos análisis se fijarán las dimensiones definitivas del robot paralelo. Se obtendrán las ecuaciones que gobiernan el problema dinámico inverso y directo del robot paralelo. A partir de este punto se podrán seleccionar los actuadores del robot paralelo.
3. Diseñar el detalle del robot paralelo. Se atenderá a un bajo coste y facilidad de transporte. Se obtendrá un modelo cinemático y dinámico inversos del miembro inferior (considerando la cadera como elemento fijo hasta el pie). Se determinarán las fuerzas en músculos y ligamentos. Dado que el sistema muscular constituye uno redundante, se considerarán diversos criterios de optimalidad. Se integrará los modelos cinemáticos y dinámicos del robot paralelo y el miembro inferior en un único modelo híbrido.
4. Desarrollar un sistema avanzado de control adaptativo que, basado en el modelo híbrido anterior, permita aplicar de un modo preciso, medible y reproducible, movimientos y fuerzas en la pierna sometida a diagnosis y/o rehabilitación.
5. Implementar una capa de inteligencia artificial al sistema de control desarrollado con el fin de que los algoritmos de control diseñados puedan actuar de manera autónoma en ciertos casos durante las experimentaciones del sistema desarrollado.
6. Publicar los resultados obtenidos y analizar la pertinencia de la gestión de una patente.

Es importante destacar que en ningún caso se pretende la eliminación completa del personal sanitario del proceso de diagnosis y rehabilitación. Por el contrario, lo que se intenta es, por un lado, aprovechar la experiencia de los profesionales más cualificados para incorporarla al sistema mecatrónico que se pretende diseñar y de ese modo conseguir que un elevado número de pacientes se beneficie de una atención óptima.

En segundo lugar, el disponer de un sistema mecatrónico fiable y de bajo coste, permitiría que un número cada vez mayor de pacientes pudiera acceder a una rehabilitación de calidad, que en algunos casos podría llevarse a término cerca del propio domicilio del paciente, siempre bajo supervisión del personal sanitario competente, y no necesariamente en un hospital. Esto disminuiría la saturación de estas instalaciones críticas y evitaría a los pacientes desplazamientos a hospitales y centros de salud, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.

Antecedentes de la hipótesis:

1. Los robots paralelos, comparados con los robots serie, poseen unas características superiores de compacidad, precisión y rigidez que los hacen particularmente adecuados para aplicaciones biomecánicas.
2. En la mayoría de las aplicaciones biomecánicas no es necesario disponer de robots con seis grados de libertad, con lo que se puede abaratar significativamente su precio y simplificar su operación.

3. La dinámica de multicuerpos proporciona las herramientas necesarias para obtener modelos que permitan predecir de un modo ajustado el comportamiento dinámico de sistemas complejos tanto mecánicos como biomecánicos.
4. En el proceso de diagnóstico y rehabilitación que se está considerando, lo que se busca no es tanto controlar el movimiento del robot sino controlar de un modo efectivo el movimiento y sobre todo las fuerzas que aparecen en los músculos y ligamentos del paciente durante el proceso de diagnóstico y/o rehabilitación.
5. Un sistema de control que incorporara el modelo dinámico híbrido permitiría definir, de un modo preciso, el nivel de esfuerzos transmitidos.
6. El empleo de sensores externos contribuye en gran medida a incrementar la precisión y fiabilidad del sistema de control.

Hipótesis:

El control adaptativo basado en inteligencia artificial puede ser aplicado a un sistema mecatrónico fundado en un robot paralelo para la diagnosis y rehabilitación mediante el desarrollo de un equipo a bajo coste en el Ecuador, y que cumpla con normas internacionales.

Relevancia de esta propuesta de investigación y su relación con la(s) Línea(s) de investigación asociadas.

El desarrollo del presente Proyecto de Investigación demanda la intervención de importantes áreas de la Ingeniería como el Diseño, Simulación, Fabricación, Automatización Industrial, Robótica, Mecanismos, Ergonomía, Bioingeniería; las mismas que se identifican plenamente con las líneas de investigación del departamento de INGENIERIA MECANICA, del departamento de AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL, de acuerdo al siguiente detalle:

Líneas de investigación del Departamento de Ingeniería Mecánica:

- Diseño y producción
- Equipos médicos
- Elementos Finitos con Aplicaciones
- Máquinas y mecanismos

Líneas de investigación del Departamento de Control y Automatización Industrial

- Control Automático
- Robótica y Mecatrónica
- Inteligencia Artificial
- Diseño y Construcción de Equipos
- Control Electrónico de Potencia

Entre las principales líneas de investigación de los departamentos de Sistemas y Automática, de Ingeniería Mecánica y de Materiales, y del Instituto Universitario de Biomecánica de la Universidad Politécnica de Valencia se pueden citar:

- Mecatrónica y Robótica
- Biomecánica: Aplicaciones a la tecnología de la rehabilitación
- Control avanzado de sistemas mecánicos
- Instrumentación

El presente proyecto se integra perfectamente en las líneas de investigación de los departamentos implicados, dado que en el mismo se desarrollará completamente un sistema mecatrónico basado en un robot paralelo. El sistema estará dotado de un sistema de control avanzado que incluirá no solo el comportamiento cinemático y dinámico del propio robot sino también un modelo biomecánico del miembro inferior, es lo que se denomina un modelo híbrido.

Hipótesis:

Productos Esperados:

Publicaciones científicas

Disertación a la Comunidad Politécnica

Proyecto de Titulación

Tesis de Grado

Aplicación tecnológica construida o implementada

Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación

Detalle de los resultados esperados

Los resultados esperados del proyecto abarcan los ámbitos científico-tecnológico, académico y de estrategia para futuros proyectos y líneas de investigación del departamento.

1. Resultados científico-tecnológicos.

Los resultados científicos-tecnológicos que se esperan incluirán el diseño, fabricación y control de un nuevo robot paralelo dedicado a tareas de diagnóstico y rehabilitación de lesiones de rodilla.

Como parte integrante del sistema de control, se desarrollará un modelo dinámico híbrido del conjunto robot-miembro inferior. Este punto es novedoso y permitirá controlar las fuerzas transmitidas a la pierna del paciente y no tanto los movimientos de la plataforma móvil del robot paralelo.

El sistema avanzado de control que se prevé desarrollar incluirá un empleo extensivo de sensores externos, que incluirán al menos: fotogrametría para la captura de movimientos de la pierna, sensores de fuerza para determinar las acciones (fuerzas/momentos) transmitidas por el robot paralelo a la pierna humana y electromiografía para detectar de un modo cualitativo la activación de los principales músculos involucrados.

Los resultados científico-tecnológicos que se esperan del presente proyecto se resumen en:

- Prototipo de un sistema mecatrónico, basado en un robot paralelo, para la diagnosis y rehabilitación de lesiones de rodilla.
- Consolidación de un grupo de investigación en el área de los sistemas mecatrónicos
- Experiencia en el diseño, modelado cinemático y dinámico de robots paralelos.
- Experiencia en el modelado cinemático y dinámico del cuerpo humano.
- Experiencia en la integración de modelos mecánicos y biomecánicos para aplicaciones avanzadas de control.
- Experiencia en la aplicación de esquemas avanzados de control a sistemas híbridos mecánico-biológicos.

Estos resultados se sitúan entre los más novedosos en los campos de la robótica de servicios, la mecatrónica, la biomecánica, el control y el empleo de sensores, por lo que es razonable suponer que los resultados alcanzados dentro del presente proyecto serán publicables en revistas científicas internacionales de primer nivel. Se organizará y se ejecutará al menos un Seminario o taller dirigido a estudiantes y docentes por cada año de duración del proyecto

2. Resultados académicos.

Desde el punto de vista académico, este proyecto tiene tres áreas de interés: modelado cinemático y dinámico de robots paralelos, modelado cinemático y dinámico del cuerpo humano y finalmente, desarrollo de un sistema de control que incorpore modelos híbridos mecánico-biológicos. Dada la magnitud del presente proyecto, deberían formarse dos investigadores en las técnicas antes citadas y ese conocimiento adquirido, que podría plasmarse en las correspondientes tesis de maestría, sería sin duda de utilidad para la EPN.

3. Resultados de investigación.

A lo largo del proyecto también se podría plantear el desarrollo de al menos dos tesis doctorales sobre la aplicación de los sistemas mecatrónicos a la rehabilitación, Una centrada en los aspectos mecánicos y una segunda orientada al control del sistema mecatrónico, al menos Dos tesis de maestría, al menos Cuatro tesis de ingeniería, al menos Tres publicaciones internacionales, al menos Cuatro publicaciones regionales y una posible patente.

4. Resultados estratégicos

Este proyecto situaría a la EPN en una situación de vanguardia en los campos de la Robótica de Servicios aplicada a la Biomedicina, en el desarrollo de equipos Mecatrónicos y el Modelado Dinámico de sistemas mecánico-biológicos. De esta manera la Escuela Politécnica Nacional se convertiría en el centro de referencia nacional en diversos campos con un gran potencial tanto investigador como aplicado.

Una vez alcanzado el resultado que se espera en este proyecto PIMI, la EPN dispondría de las herramientas necesarias para contribuir significativamente al aumento en la calidad de los servicios de diagnóstico y rehabilitación que dispensa el sistema nacional de salud ecuatoriano.

Usuarios y beneficios esperados

- Este proyecto se adapta a las necesidades de Salud y Bienestar de la sociedad Ecuatoriana. El principal usuario sería el servicio nacional de salud ecuatoriano y los beneficios esperados se pueden resumir en:
- La diagnosis en las lesiones de rodilla mejorará notablemente, al poder aplicar protocolos estandarizados y basados en la experiencia de profesionales médicos muy experimentados.
- Es objetivo de este proyecto PIMI el desarrollo de un sistema mecatrónico de bajo coste y fácil operación, por lo que la rehabilitación se podría extender a pacientes que en estos momentos tienen dificultades en acceder a centros sanitarios. Es evidente pues, la mejora en la calidad asistencial y el ahorro económico que esto supondría para el estado ecuatoriano.
- El sistema mecatrónico propuesto permitirá la confección de una base de datos sobre lesiones de rodilla, que puesta a disposición de los profesionales médicos, permitirá mejorar sustancialmente las capacidades de diagnosis.

Potenciales usuarios:

- Pacientes con necesidad de ejercicios de rehabilitación de rodilla con la supervisión de profesionales especializados
- Fisioterapeutas, Fisiatras, Traumatólogos, Rehabilitadores
- Hospitales, Clínicas, Centros Rehabilitación

3 Descripción y metodología.

Descripción, metodología y diseño del proyecto

El desarrollo de sistemas mecatrónicos para aplicar fuerzas o controlar movimientos humanos no es nuevo en el campo de la Biomecánica. De hecho, existen diversos precedentes en cirugía y rehabilitación y de un modo menos extendido en áreas como la valoración funcional o el apoyo a la diagnosis [1], [2]. En el campo de la rehabilitación, la idea esencial es desarrollar un dispositivo capaz de reproducir el trabajo desarrollado por el paciente, junto con el fisioterapeuta, durante las sesiones de rehabilitación.

La calidad de la asistencia sanitaria, así como el proceso de rehabilitación clínica, mejoran cuando se emplean dispositivos robóticos como ayuda a los fisioterapeutas, ya que permiten aplicar las denominadas terapias basadas en la evidencia (proporcionar la terapia óptima para un paciente en particular mediante el control de sus variables biomédicas). Además, un dispositivo robótico puede aumentar significativamente la productividad de los terapeutas.

En este sentido, los sistemas robóticos de rehabilitación permiten a los pacientes realizar una amplia gama de tareas auto-administradas, desde acciones repetitivas pasivas a actividades funcionales. Estos sistemas permiten a los pacientes entrenar repetida e intensamente y proporcionan a los fisioterapeutas herramientas que les permiten tratar a los pacientes con un mínimo de supervisión. En [3] y [4] se pueden encontrar revisiones de sistemas de rehabilitación recientes. Estos sistemas incluyen aplicaciones tan diversas como sistemas para el entrenamiento para la marcha, [5]-[7], modificaciones de mesas isocinéticas, [8], sistemas para rehabilitación de las extremidades superiores (revisadas en [9]) ortesis activas [10]-[12].

Un robot paralelo consiste en una plataforma móvil conectado a una base fija por medio de varias cadenas cinemáticas. Estos manipuladores tienen el útil de trabajo unido a la plataforma móvil. Los robots paralelos presentan diversas ventajas sobre los robots serie, esencialmente porque la carga se reparte entre las diversas cadenas cinemáticas (patas) que conectan la plataforma móvil con la base, dando así a los robots paralelos alta rigidez, alta capacidad de carga, alta velocidad y alta precisión. Sin embargo, los robots paralelos adolecen de espacios de trabajo pequeños (comparados con los robots serie) y pueden presentar problemas de singularidad dentro del espacio de trabajo. Además, la cinemática, dinámica y en general el control de los robots paralelos son comparativamente más complejos que los robots seriales.

Entre las primeras aplicaciones de los robots paralelos a la rehabilitación, en este caso del tobillo, se encuentra el Rutgers-Ankle [13]. Este robot era básicamente una plataforma de Stewart-Gaugh y por tanto con seis grados de libertad, desde entonces se ha observado una fuerte tendencia entre los investigadores a analizar cuidadosamente el número mínimo de grados de libertad necesarios para realizar la tarea en cuestión y de ese modo obtener robots paralelos más simples de operación y de menor coste. En esa línea, se han propuesto robots para la rehabilitación de tres y cuatro grados de libertad [14] y [15].

Un controlador adaptativo puede proporcionar un excelente rendimiento y mejorar el comportamiento dinámico de un sistema robótico al permitir que los parámetros del controlador puedan ajustarse a las condiciones variables del funcionamiento. Diversos enfoques que utilizan inteligencia artificial y algoritmos analíticos basados en ella pueden utilizarse para diseñar un controlador adaptativo. También es posible que las técnicas analíticas y de inteligencia artificial se integran de manera que algunas funciones se realizan utilizando el enfoque analítico, mientras que el resto se lleva a cabo utilizando técnicas de inteligencia artificial.

4 Fechas de Inicio y Fin

Fecha Inicio:

Fecha Fin:

5 Infraestructura, equipamiento y fondos adicionales.

Infraestructura y equipos

Breve justificación del equipo requerido

Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Materiales de los mismos.

En este proyecto se precisa equipamiento propio de un Laboratorio de biomecánica (sistema de video fotogrametría para análisis de movimientos humanos) y el necesario para construir y controlar el sistema biomecatrónico (robot paralelo, sistema de control, ordenadores de desarrollo, sensor fuerza/momento para medida de esfuerzos sobre el robot, material de seguridad y sistema de adquisición de señales fisiológicas).

Además será necesario algún material fungible para fabricar una silla para controlar la postura y fungible de videofotogrametría y para señales fisiológicas.

Este equipamiento es el siguiente:

- **Equipo de video fotogrametría de alta precisión**

Está destinado a la medición precisa de la cinemática de los segmentos corporales. En este caso, para registrar y describir el movimiento del pie, pierna y muslo respecto del tronco y respecto de la plataforma del robot paralelo. Está formado por un conjunto de cámaras de video sincronizadas que permiten medir las coordenadas de marcadores reflectantes fijados a los segmentos corporales objeto de estudio.

El sistema debe ofrecer una elevada precisión (mejor que 0.5 mm/m de espacio medido) y proporcionar al menos 100 fotogramas por segundo, para asegurar que se pueden medir con precisión los axoides asociados al movimiento. También es conveniente que sea automático (la digitalización manual o semiautomática supone mucho trabajo), lo que implica al menos 3 cámaras por vista, con un mínimo de 6. Finalmente se recomienda que sea un equipo escalable, de manera que puedan añadirse cámaras en futuros proyectos que precisen varias vistas.

Hay que señalar que este equipo no es específico de este proyecto, sino que es la base de un laboratorio de biomecánica y que sus aplicaciones son muy numerosas, pudiendo ser usado también en el otro proyecto que se presenta.

- **Robot paralelo**

Un robot paralelo consiste en una plataforma móvil conectado a una base fija por medio de varias cadenas cinemáticas. Estos manipuladores tienen el útil de trabajo unido a la plataforma móvil. Los robots paralelos presentan diversas ventajas sobre los robots serie, esencialmente porque la carga se reparte entre las diversas cadenas cinemáticas (patas) que conectan la plataforma móvil con la base, dando así a los robots paralelos alta rigidez, alta capacidad de carga, alta velocidad y alta precisión. En este proyecto se diseñará y construirá un robot adaptado a los espacios de trabajo y rango de movimientos y esfuerzo propios de las manipulaciones para diagnóstico o ejercicios de rehabilitación. Se trata de un robot con 4 grados de libertad y un novedoso sistema de control en tiempo real que permite incorporar señales fisiológicas y variables biomecánicas, lo que permitirá la interacción entre el robot y el cuerpo humano.

- **Sensor Fuerza/par**

La implementación de los modelos de dinámica inversa precisa de un sistema de análisis del movimiento de los segmentos corporales y de la medida de las fuerzas aplicadas externamente. En los modelos biomecánicos convencionales, la medida de fuerzas se realiza mediante una o dos plataformas de fuerzas fijadas al suelo. Sin embargo, en el caso del sistema robotizado, las fuerzas se aplican mediante la plataforma del robot. Para monitorizar estas fuerzas es necesario disponer de un sensor que mida las fuerzas y momentos aplicados por la plataforma sobre el robot.

Es necesaria una célula de gran precisión y sensibilidad, y también con una carga máxima suficiente para soportar importantes cargas dinámicas. La célula debe ser robusta y lo más ligera posible.

El sensor de fuerza/par (F/T) que se necesita es un sensor de 6 grados de libertad capaz de leer las fuerzas y pares en los 3 ejes: (Fx, Fy, Fz, Tx, Ty, Tz). Para ello utiliza un transductor monolítico instrumentado y bandas extensométricas de silicio que le proporcionan una inmunidad excelente ante el ruido. Además, el uso de medidores de silicio permite que el sensor F/T tenga una alta rigidez y una mayor protección ante sobrecargas.

ATI Industrial Automation tiene disponible una gran familia de sensores de fuerza en función de las fuerzas que se necesiten medir. Para esta aplicación se opta por la familia Delta, que es la que mejor se adapta a las necesidades del proyecto. En concreto, el sensor es el FTN-Delta-10-Netb SI-330-3, que es capaz de medir fuerzas de +300N en los ejes Fx y Fz y de +990N en el eje Fz. Los pares máximos son +30Nm en los tres ejes.

Por otro lado, si bien hay disponibles diversas interfaces de comunicación entre el sensor y el equipo de control, se opta por la opción Net F/T puesto que ofrece Ethernet / IP y bus CAN, por lo que es compatible con la norma Ethernet.

- **PC de control**

El PC para la unidad de control del robot paralelo debe de permitir conectarle las tarjetas de adquisición de datos necesarias para poder acceder a las variables de control del sistema robotizado, incluyendo variables fisiológicas o biomecánicas. Al ser un robot de 4 grados de libertad, el equipamiento necesario es el siguiente:

1 tarjeta Advantech PCI-1720

2 tarjetas Advantech PCL-833

La tarjeta a) es una tarjeta PCI con 4 convertidores digital/analógico, y será la encargada de suministrar las acciones de control a los 4 actuadores del robot. Las tarjetas b) son tarjetas ISA de lectura en encoders.

Por lo tanto, el PC debería tener libres y accesibles al menos 2 slots (ranuras) ISA y 1 slot PCI. Para ello se recomienda un PC tipo 4U Rackmount, que según la configuración que se desee, pueden proporcionar hasta 7 slots ISA y 7 PCI.

En cuanto a la velocidad y capacidad de cálculo y almacenaje, se recomienda al menos un procesador tipo i5, 16Gb de memoria RAM y 3Tb de disco duro.

- **PC de desarrollo y captación de señales fisiológicas y biomecánicas**

Además del PC de control, cuya función exclusiva es controlar el funcionamiento del robot es necesario un PC adicional para desarrollo de software y como complemento en la captación de señales fisiológicas y biomecánicas que sirvan de entrada. Las características deseables en este equipo son las siguientes

64 bits (x64)

Memoria 4 GB (o más)

I7 3,1 GHz (o superior)

Built-in USB 3.0 controlador de host (Intel o Renesas chipset).

USB 3.0

DX11 adaptador de gráficos (ATI Radeon HD 7800 (256-bit GDDR5 de 2GB / 1000Mhz, NVidia GeForce GTX 660 o similar)

Equipo complementario de video para el sistema de seguridad

Además del equipo de fotogrametría, cuyo objetivo es la aplicación de análisis biomecánicos de precisión, se ha previsto la adquisición de otros sistemas de video complementarios de bajo coste. Su finalidad es disponer de sistemas de seguridad que se alimenten de variables de movimiento medidas directamente, y en tiempo real, sobre los segmentos corporales conectados al robot.

Se trata de sistemas low-cost de baja precisión pero que pueden ser conectados en tiempo real al robot, ofreciendo una monitorización continua capaz de detectar situaciones (ángulos o velocidades) susceptibles de originar cualquier tipo de lesión o molestia al usuario. Este equipo consta de dos cámaras Raspberry y un sensor Kinect v2. Hay que señalar que los aspectos de seguridad en los sistemas biomecánicos son fundamentales, siendo necesario disponer de sistemas redundante para prevenir cualquier riesgo sobre el paciente

Cameras Raspberry: 2 unidades (200 euros)

Sensor Kinect v2: 1 ud (200 euros)

- **Equipo de monitorización de variables fisiológicas y biomecánicas**

Se trata de un sistema de bajo coste capaz de registrar varios canales (del orden de 120, según modelos) con señales fisiológicas (pulso cardíaco y EMG) y dinámicas (acelerómetros o sensores EMU).

Este equipo puede monitorizar diferentes variables sobre el propio sujeto que servirán de variables de control del movimiento del robot, jugando un doble papel: como sistemas de seguridad paralelos a los anteriormente descritos y como entrada de control a partir de esfuerzos musculares, fatiga, aceleraciones o velocidades.

- **Material fungible**

Además de los equipos anteriormente descritos, a continuación se detalla el material fungible necesario para el desarrollo del proyecto

Fungible para construir una silla que permita fijar la postura corporal. Básicamente consiste en una silla de altura regulable sobre la que situar al sujeto en la posición adecuada para la operación del robot.
 Fungible de videofotogrametría: marcadores reflectantes y pegatinas.
 Fungible para captación de señales fisiológicas: electrodos desechables

Fondos Adicionales

6 Cronograma de Trabajo anual.

Año 1

ACTIVIDAD	Porcentaje de avance por mes						Total
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	
Revisión bibliográfica	5	0	0	0	0	0	5.0
Estudio y selección de pruebas diagnósticas y de rehabilitación	5	0	0	0	0	0	5.0
Requisitos que debe de cumplir el sistema mecatrónico	0	5	0	0	0	0	5.0
Propuesta a nivel topológico de robots paralelos que cumplen los requisitos	0	5	0	0	0	0	5.0
Elección de una tipología de robot paralelo	0	5	0	0	0	0	5.0
Ecuaciones de la cinemática inversa del robot paralelo	0	0	5	0	0	0	5.0
Ecuaciones de la cinemática directa del robot paralelo	0	0	5	0	0	0	5.0
Análisis de las características del espacio de trabajo del robot	0	0	5	0	0	0	5.0
Ecuaciones del movimiento del robot paralelo	0	0	0	5	0	0	5.0
Resolución del problema dinámico inverso	0	0	0	0	10	10	20.0
Selección de componentes	0	0	0	0	10	10	20.0
Diseño de detalle y construcción del prototipo	0	0	0	0	10	5	15.0
					Total	100.0	

Año 2

ACTIVIDAD	Porcentaje de avance por mes						Total
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	
Modelo cinemático del miembro inferior	10	0	0	0	0	0	10.0
Modelo de músculos y ligamentos a considerar	0	10	0	0	0	0	10.0
Obtención de esfuerzos musculares y ligamentosos	0	10	0	0	0	0	10.0
Integración del modelo dinámico del robot y de la pierna	0	0	10	0	0	0	10.0
Selección y adquisición de los componentes y dispositivos hardware para el desarrollo de la arquitectura de control	0	0	0	20	0	0	20.0
Programación y desarrollo de los manejadores de los componentes de la unidad de control	0	0	0	0	10	0	10.0
Definición y desarrollo arquitectura software de control del robot paralelo	0	0	0	0	10	0	10.0
Desarrollo de controladores dinámicos de posición y fuerza para el robot paralelo	0	0	0	0	0	10	10.0
Simulación y análisis de los controladores dinámicos sobre un robot paralelo virtual	0	0	0	0	0	10	10.0
					Total	100.0	

7 Presupuesto estimado para la ejecución del presente proyecto

- Los costos para la elaboración del presupuesto estimado no deben incluir IVA.