

*Proyecto de cooperación con la
Universidad:*

*“Dispositivos electrónicos de bajo coste
para medición de la postura en niños
con discapacidad motriz”*

*Colegio Público de Educación Especial “Alborada”
Curso 08/09*

1-Datos de identificación

1.1-Título del proyecto

“Dispositivos electrónicos de bajo coste para medición de la postura en niños con discapacidad motriz”

1.2-Coordinador del proyecto por parte del Centro Educativo

Pablo Herrero Gallego

DNI: 25186638-M

Funcionario de carrera con destino definitivo en el CPEE Alborada desde el curso 2003/2004

1.3-Área y nivel educativo

Educación especial

1.4-Descripción de la situación educativa que se piensa investigar

Se plantea el estudio, desarrollo y aplicación/evaluación de un “*dispositivo electrónico de bajo coste para la medición de la postura en niños con discapacidad motriz*” como medio para valorar la postura, en aquellos alumnos de educación especial que debido a sus discapacidades motóricas e intelectuales, presentan problemas posturales.

Los objetivos que se plantean son:

1º-Disponer de un sistema de medición electrónico de bajo coste, que permita a los distintos profesionales en contacto con el alumno registrar y valorar la postura de manera sencilla. El dispositivo, colocado en ciertos niveles anatómicos de referencia, permitirá que la postura del alumno pueda ser comparada con unos valores objetivos de referencia (posición 0), indicando así las desviaciones que puedan existir en los tres ejes anatómicos (X,Y;Z).

2º- Extrapolar el uso del dispositivo a los distintos ámbitos de intervención con el alumno:

- Aula: A nivel de aula el objetivo es potenciar el trabajo del alumno en clase, ya que la posibilidad de medición y valoración de la postura permitirá a los profesores seleccionar el mobiliario adaptado más adecuado para el alumno (tipo y tamaño de silla/mesa). Esta mejora de la postura redundará en una mayor atención y concentración del alumno en las tareas a realizar (menor cansancio), una mayor interrelación alumno-profesorado así como una facilitación de aquellas tareas que requieran una mayor destreza motriz, ya que los alumnos con discapacidad motriz mejoran la precisión en la realización de tareas manipulativas (escritura, etc...) proporcionalmente a la estabilidad de su cuerpo.
- Comunicación y actividades lúdicas: Al mejorar el lenguaje corporal (postura erecta, etc), el alumno puede ser capaz de expresarse y de interactuar con el profesor y el resto de compañeros con mayor facilidad

- **Cognición:** Una buena postura que evite la fatiga precoz o molestias en la espalda facilitará como ya se ha dicho la concentración y atención del alumno.
- **Autonomía personal:** Si a través de la medición de la postura, es posible corregir las posibles desviaciones, vamos a facilitar tareas tales como la alimentación, el aseo, etc. El periodo dedicado a la alimentación en el comedor escolar se beneficiará de una buena postura ya que los problemas de deglución de muchos niños se verán disminuidos al ser colocados en una correcta postura. Por otro lado, una buena postura en la silla de clase/comedor o en la silla de ruedas mejorará las destrezas a nivel manual, pudiendo facilitar el uso de los materiales en el comedor (cubiertos) y en el aseo (cepillado de dientes, lavado de manos...).
- **Uso de mobiliario:** Podremos comprobar qué elementos del mobiliario existente provocan menos desviaciones de la postura (sillas con respaldo más alto que mejoren el enderezamiento, una altura adecuada de la mesa/silla, etc)

1.5-Contextualización: descripción de las circunstancias en las que se va a desarrollar el proyecto

Centro educativo destino del proyecto: Usuarios

El proyecto ha sido propuesto por el Colegio Público “Alborada”, éste, es un centro de Educación Especial que escolariza alumnos de entre 3 y 21 años, con necesidades educativas muy especiales y muy significativas.

Durante el curso actual la distribución según discapacidades es la siguiente, del total de 99 alumnos:

- Plurideficiencias (Psíquicas más otra u otras discapacidades asociadas, fundamentalmente motora): 72 alumnos
- Monodeficiencia (sin discapacidad asociada): 27 alumnos.

Especificando, del total de alumnado plurideficiente:

- Alumnado con plurideficiencia por discapacidad intelectual y motora: 52 alumnos
- Alumnado con plurideficiencia por discapacidad intelectual y TGD: 15 alumnos
- Alumnado con plurideficiencia por discapacidad sensorial (visual o auditiva): 5 alumnos
- Alumnado con monodeficiencia por retraso mental grave: 17 alumnos
- Alumnado con monodeficiencia por retraso mental severo: 5 alumnos
- Alumnado con monodeficiencia por retraso mental moderado: 4 alumnos
- Alumnado con monodeficiencia por trastorno psicótico: 1 alumno.

Por otra parte, tenemos un total de 22 alumnos inmigrantes procedentes de Guinea, Marruecos, Gambia, Rumania, Colombia, Portugal y Ecuador.

Las familias de nuestros alumnos proceden de Zaragoza capital, de diferentes barrios, y de diferentes localidades, en concreto La Puebla de Alfinden, Monegrillo, Épila, Calatorao, La Almunia de Doña Godina, Calatayud, Villanueva de Gállego, San Juan de Mozarrifar o Villamayor

En cuanto al equipo de profesionales que trabajan con el alumnado, destacar la heterogeneidad de perfiles profesionales: maestros con diversas especialidades (Pedagogía Terapéutica, Logopedia, Música y Ed. Física), Profesor de FP, Auxiliares de Educación Especial, ATS, Orientadora Escolar, Trabajadora Social y Fisioterapeutas, además de diverso personal de administración y servicios (Monitores de comedor, mantenimiento, cocineras, conserjes...).

Todo el equipo de profesionales que trabajan en el Centro, tienen como característica común su gran implicación en la tarea educativa, cada uno desde su competencia, pero con una gran disponibilidad para abordar el reto educativo que supone dar una respuesta educativa a las diversas situaciones que se plantean, teniendo en cuenta que nuestros alumnos y alumnas tienen en muchos casos dificultades graves y permanentes, no sólo de aprendizaje, sino de movilidad, de comunicación, de autonomía, de socialización...

Dentro de este marco educativo, la intervención con el alumnado que en su mayoría presenta graves problemas, como son deficiencias motóricas e intelectuales, plantea problemas e inquietudes, siendo las mismas un reto para el equipo multidisciplinar que interviene a lo largo del proceso educativo. Este equipo se coordina con el fin de lograr una serie de objetivos, como son la mejora de la calidad de vida del alumno, el aumento de su independencia y el desarrollo intelectual, para que el plano físico y el cognitivo se combinen y se logren así mejoras en la medida que estas sean posibles.

Así con todo esto, gracias a la disponibilidad del Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicación de la Universidad de Zaragoza, pretendemos gestar y consolidar una colaboración de investigación y desarrollo de dispositivos técnicos que ayuden a fomentar la CALIDAD DE VIDA de nuestro alumnado, a corto, medio y largo plazo.

Propuesta general de proyecto de trabajo:

El Colegio, aprovechando la posibilidad de realizar un proyecto de Cooperación en materia de investigación entre Departamentos Universitarios y Equipos de Personal Docente de la Comunidad Autónoma de Aragón se puso en contacto con el Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicación de la Universidad de Zaragoza para poder llevar a cabo este proyecto.

Se cumplía así el apartado 2 del punto primero de la orden de 12 de Mayo de 2008 publicada en el BOA número 72 del 3 de Junio de 2008 por la que “también podrán participar Departamentos de la Universidad de Zaragoza y equipos de funcionarios docentes dependientes de la Diputación General de Aragón mediante

proyectos presentados por los Centros de Profesores y Recursos, Centros Rurales de Innovación Educativa y el Centro Aragonés de Recursos para la Educación Intercultural”.

Con el proyecto de trabajo se pretende elaborar un DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE LA POSTURA de bajo coste que permita la identificación inmediata y sencilla de la misma, a partir de su colocación en unas referencias anatómicas, pudiendo registrar las posibles desviaciones que se producen en 3 ejes de coordenadas, con respecto a unos valores objetivos. De esta manera se podría identificar que posturas son las más beneficiosas para el alumno, y plantear las posibles correcciones a las mismas.

Esto permitiría que, a través de las correcciones posturales, el alumno pudiera no sólo mejorar su capacidad motriz mediante un mayor control de la postura, sino también su estado de salud en general (evitar rigideces, contracturas, desuso...). Además este dispositivo otorgaría al alumno mejores posibilidades para el desarrollo de las tareas en el aula (mayor concentración, atención, posibilidad de dirigir mayores esfuerzos a aquellas actividades que requieran mayor capacidad) y su desenvolvimiento personal (autonomía, posibilidad de comunicación y actividades lúdicas, ver cual de ellas supone un mejor control postural).

Experiencia previa del grupo de profesores universitarios.

Los docentes universitarios que colaborarán en este proyecto pertenecen al grupo Tecnodiscap, reconocido como “Consolidado de Investigación Aplicada” por el Gobierno de Aragón en la última convocatoria [Ciencia, 2008].

El objetivo de este grupo es el de aplicar la tecnología para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidades y ancianos. Para ello, tras identificar necesidades concretas (en su vida diaria, en su proceso de educación...) busca soluciones adecuadas cuya implementación puede conllevar la aplicación de tecnologías ya existentes o la investigación / desarrollo de productos o servicios adaptados a estos sectores de la sociedad [Plaza, 2007], [Casas, 2006], [Abascal, 2005], [Falcó, 2005], [Casas, 2004], [Sevillano, 2004] y [Falcó, 2003].

Actualmente colabora con diversas empresas (Aserhco, B&J Adaptaciones y BSH-Balay), centros de educación especial (Fundación Virgen del Pueyo, Colegios de Educación Especial Alborada y Rincón de Goya en Zaragoza y Arboleda en Teruel), residencias de ancianos, centros de día (La Caridad) y Asociaciones y Fundaciones (DFA – Disminuidos Físicos de Aragón, ATAM – Asociación de Telefónica para la Atención de Minusválías, AIDIMO – Asociación para la Investigación en la Discapacidad Motriz...). Así mismo, trabaja con otras Universidades (País Vasco, Sevilla y Barcelona).

Paralelamente, los tres doctores que van a colaborar en este proyecto imparten docencia en el Dpto. de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. La actividad desempeñada les ha llevado a elaborar diferentes textos docentes [Artigas, 2002], [Artigas, 1999] y comunicaciones en congresos especializados en docencia [Acero 2008], [Artigas, 2008], [Artigas, 2004], [Artigas, 2000], [Orrite, 2000], [Serrano, 2000].

Tanto las actividades de corte más tecnológico, como las derivadas de su preocupación por mejorar la calidad de la docencia se ven directamente reflejadas en la propuesta de este proyecto.

1.6.-Fecha de finalización del proyecto

El proyecto se dividirá en varias fases:

- 1º Fase: Toma de contacto con responsables del Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicación de la Universidad de Zaragoza a quienes se les solicitará la colaboración en el Proyecto y se realizarán las propuestas de trabajo más viables y coherentes. Mayo 2008.
- 2º Fase: Diseño teórico del proyecto –este documento- solicitando las ayudas personales y económicas para llevar a cabo el proyecto. Junio 2008.
- 3º Fase: Elaboración del prototipo de dispositivo para la medición de la postura (a cargo de la Universidad).
- 4º Fase: Aplicación y evaluación del dispositivo con el alumnado preseleccionado del centro, principalmente del área de fisioterapia en tanto en cuanto son aquéllos alumnos que presentan una discapacidad motórica mayor.
- 5º Fase: Generalización y/o aplicación a otros campos de la educación del alumno dentro del centro.
- 6º Fase: Generalización a alumnado compatible con los objetivos del dispositivo.

Entrega de memoria: antes de 15 de Junio de 2008

1.7.-Justificación de la actividad

Partiendo del principio de que “la educación es un derecho fundamental que tiene por objeto el pleno desarrollo de la personalidad humana”, el presente proyecto se plantea como una acción específica de atención a la diversidad, potenciando acciones que garanticen la igualdad de oportunidades de todo el alumnado.

Según la Ley Orgánica 9/1995, de 20 de noviembre, de la Participación, la Evaluación y el Gobierno de los Centros Docentes [LOPEG, 1995], la población *escolar con necesidades educativas especiales* puede ser definida como “*aquella que requiera, en un período de escolarización o a lo largo de toda ella, determinados apoyos y atenciones educativas específicas por padecer discapacidades físicas, psíquicas o sensoriales, por presentar sobredotación, por manifestar trastornos graves de conducta, o por estar en situaciones sociales o culturales desfavorecidas*”.

Centrándonos en nuestra comunidad autónoma, el Decreto 217/2000, de 19 de diciembre, del Gobierno de Aragón [BOA, 2000], define las *necesidades educativas especiales* como “*las del alumnado que requiera durante su escolarización o parte de ella, determinados apoyos y atenciones educativas específicas derivadas de discapacidades físicas, psíquicas o sensoriales, de sobredotación intelectual, de trastornos graves de conducta o por hallarse en situación desfavorecida como*

consecuencia de factores sociales, económicos, culturales, de salud u otras semejantes.”

El proyecto planteado intenta responder al espíritu marcado por el Gobierno de Aragón para este tipo de población en el decreto anteriormente citado: “*Queremos fomentar una enseñanza abierta al mundo basada en el conocimiento y en la convivencia, consiguiendo personas capaces de asumir, entender e incluso disfrutar el complejo mundo en el que nos corresponde vivir*” [BOA, 2000].

Para fomentar este tipo de enseñanza es necesario promover acciones que permitan investigar, preparar y perfeccionar la metodología y recursos didácticos que redunden en una mejor atención al alumnado con necesidades educativas especiales.

Poco a poco se va avanzando en todos los ámbitos de la educación especial, pero ahora queríamos centrarnos sobre todo en el terreno motor porque si éste mejora puede repercutir en el resto de aspectos del niño. Así, si por medio de un dispositivo que pueda ser utilizado por los profesores es posible saber si la postura del niño es la correcta o no con respecto a unos valores objetivos, podremos lograr un control o mejora de la postura del alumno en todos los momentos de su desarrollo curricular, asegurando una mejora de su calidad de vida y de su actividad en las aulas.

El presente trabajo, también pretende cubrir el punto específico de los estatutos de la Universidad de Zaragoza relativo a las directrices que deben guiar la investigación, a menudo olvidado en las evaluaciones de proyectos: “*Repercusión de la investigación en la sociedad aragonesa*”. Además de la mejora de la calidad de vida individual, cualquier mejora en la autonomía personal incide en un gasto social menor y menor red de dependencia social para las personas a quienes queremos dar servicio.

Como vía concreta de actuación, en este proyecto proponemos la colaboración entre un grupo de profesores del Dpto. de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones que trabajan en el grupo Tecnodiscap (adaptación de tecnologías para mejorar la calidad de vida de personas con discapacidades y ancianos) y del Centro de Profesores y Recursos de nº 2 de Zaragoza, junto con el Colegio de Educación Especial Alborada.

Este tipo de colaboración permitirá cubrir **varios objetivos genéricos:**

- Acercar la investigación previamente realizada por el grupo de profesores universitarios, en el campo de ayuda a la educación en personas con discapacidad, a profesionales encargados de la formación de este tipo de personas.
- Desarrollar un prototipo para la medición de la postura, de manera instantánea y sencilla, que nos permita realizar una serie de correcciones buscando los valores de referencia, que facilitará al alumno su desarrollo curricular y personal.
- Crear un foro de debate (entre los docentes que utilizarán esta herramienta y el equipo de investigadores que la han desarrollado) que permitirá intercambiar conocimientos, experiencias.

- Recopilar las conclusiones obtenidas, permitiendo afrontar una sucesiva etapa de mejora y difusión del dispositivo para la medición de la postura a otros usuarios que lo necesiten.

Según la orden que rige esta convocatoria sobre los criterios de valoración y selección de proyectos, los proyectos se deben referir a una serie de temas que se enumeran. Aunque nuestro proyecto trata en mayor o menor medida la mayoría de los temas, principalmente se refiere a los que responden a:

- Los procesos de enseñanza y aprendizaje para el desarrollo de habilidades relacionadas con las competencias básicas y la resolución de problemas cotidianos.
- La convivencia escolar y la resolución de conflictos en relación con la mejora del clima del aula y centro y rendimiento académico.
- La incorporación de las tecnologías de la información y comunicación a los procesos de enseñanza y aprendizaje y la contribución a la mejora de los mismos.

2-Diseño del proyecto y actividad

2.1.-Objetivos del proyecto

1-Objetivos del producto desde un punto de vista funcional

-Medir la postura en 3 ejes de coordenadas respecto a unos valores y niveles anatómicos de referencia.

-Modificar la postura, a partir de la medición, consiguiendo:

- ✓ Mejorar la ergonomía postural, llevando al alumno a aquellas posturas que supongan un mejor alineamiento corporal impidiendo actitudes viciosas, deformidades, contracturas, desuso.
- ✓ Aumentar la destreza motora, ya que al corregir la postura, los esfuerzos irán dirigidos al desempeño de tareas y no se perderán en el mantenimiento de una postura nada beneficiosa que le impedía ciertas tareas.
- ✓ Mejorar el desarrollo curricular de alumno, ya que la corrección postural le va a permitir una mejora de las condiciones de atención y concentración en el aula y hacia el profesorado, aumentando así la posibilidad de interrelación entre profesor-alumno, alumno-alumno. La mejora de las destrezas motoras por la mejora de la alineación corporal le permitirá realizar aquellas tareas que requieran mayor capacidad (como puede ser las tareas manipulativas) gracias a la corrección postural de los segmentos corporales proximales.
- ✓ Aumentar el nivel de autonomía personal.

2-Objetivos del proceso

-Desarrollar el dispositivo para la medición de la postura: diseño teórico.

-Definir un plan de evaluación común –Centro Educativo/Universidad- que pueda valorar el cumplimiento de los objetivos previstos.

-Implantar el prototipo en el CPEE Alborada, con el alumnado preseleccionado y a cargo de los Fisioterapeutas y, una vez estudiado y comprobada su eficacia ponerlo en funcionamiento para diferentes áreas de enseñanza, en espacios como las aulas, los baños, el comedor, música...

-Extraer conclusiones sobre el proyecto a nivel técnico y educativo.

3-Objetivos de líneas de futuro (segunda fase del proyecto) se prevé:

-Valorar los resultados obtenidos, con objeto de perfeccionar el diseño si fuese necesario.

-Ampliar la aplicación del dispositivo: en número de niños, en zonas del cuerpo a estudiar, en el número de planos y ejes de los movimientos pasivos y en ambientes a aplicar.

-Divulgación de resultados.

2.2.-Hipótesis que guían la investigación

Formulamos las siguientes hipótesis que corresponden a la investigación concreta a abordar:

- El dispositivo electrónico tiene capacidad para medir la postura de manera instantánea y sencilla al ser colocado sobre niveles de referencia anatómicos.

- El dispositivo puede ser utilizado e interpretado por el profesorado, de manera inmediata, para que corrijan la postura del alumno.

- El dispositivo presenta la posibilidad de medir la postura en 3 ejes de coordenadas, e indicar las desviaciones de la misma, respecto a unos valores numéricos de referencia.

- El dispositivo electrónico puede ser utilizado junto a un receptor externo que permita seguir la postura durante un periodo de tiempo, ya que la postura no es estática, sino que se produce gracias a continuas modificaciones. Gracias a ello podremos hacernos una idea más aproximada de cuál es la postura del alumno en el desarrollo de sus tareas.

2.3.-Contenidos que se van a desarrollar en la investigación

A partir de las hipótesis que nos planteamos todo el equipo (tanto del centro como de la universidad) que vamos a trabajar en este proyecto, los contenidos son variados:

✖ A nivel ergonómico, se realizarán mediciones de la postura no sólo a nivel de tronco sino también a nivel de las extremidades, en aquellos niños que por su afectación postural y motora, presentan alteraciones del alineamiento corporal, para cuantificar las desviaciones que se producen en los segmentos corporales del alumno. Podrá ser medida en cualquiera de las actividades que realiza en su día a día, así como valorar que actividades suponen un mejor alineamiento corporal, cuáles son más perjudiciales y cuáles pueden ser los medios que nos permitan el mayor control postural. Se les intentará hacer comprender a los alumnos que en la medida en que tengan mejor postura, conseguirán una mayor concentración y atención en el aula, en las actividades lúdicas, una mejora de aquellas actividades que precisen una mayor calidad y finura de movimiento y que a largo plazo, el control postural va a ser beneficioso para su calidad de vida.

El registro y posterior corrección postural puede provocar una serie de mejoras y cambios a nivel físico y psíquico:

- Evitar rigideces y desviaciones articulares, por el mejor alineamiento corporal.
- Impedir aparición de contracturas o tensiones excesivas causadas por el desequilibrio postural.
- Mantener un correcto trofismo articular, impidiendo el desuso de ciertas articulaciones

- Aumento de la interacción y por lo tanto de la recepción de estímulos del medio que les rodea.
- Mejora del estado psicológico del paciente

✘ A nivel psicopedagógico con el alumnado:

Al aumentar la posibilidad de interacción estamos aumentando su nivel de autoestima, porque el alumno percibe que sus posibilidades están aumentadas, tanto sus posibilidades motoras como sociales, puesto que su estado físico y psíquico, como ya hemos nombrado anteriormente ha sufrido cambios beneficiosos produciéndole una mayor armonía.

La atención en el aula y su concentración en niveles generales, es mayor, lo que permite una mayor predisposición al aprendizaje, una mejora de la interrelación alumno-profesorado, ya que sus esfuerzos no se pierden en el mantenimiento de una postura perjudicial y que supone un elevado gasto energético y un menor rendimiento. Las posibilidades del profesorado con el alumno pueden verse aumentadas al encontrarnos ante un alumno más receptivo y menos fatigado.

✘ A nivel técnico:

Una de las líneas de trabajo del grupo Tecnodiscap es facilitar interfaces persona-ordenador alternativos para personas con discapacidad que no pueden hacer uso de los dispositivos de entrada tradicionales como teclado o ratón. En particular, se ha desarrollado un dispositivo biométrico portátil con un sensor de aceleración que, fijado a una gorra, permite captar los movimientos de la cabeza del usuario. En este proyecto se modificará el diseño para lograr la precisión necesaria en la medida de inclinación. Este sensor enviará a un módulo de interfaz de usuario, a través de una conexión inalámbrica ZigBee, la aceleración detectada en los tres ejes del espacio. En el módulo de interfaz de usuario, una aplicación recogerá y procesará los datos de aceleración para obtener las inclinaciones respecto a la vertical. También se prevé que la aplicación permita capturar periodos de tiempo programables para observar la evolución de las posturas.

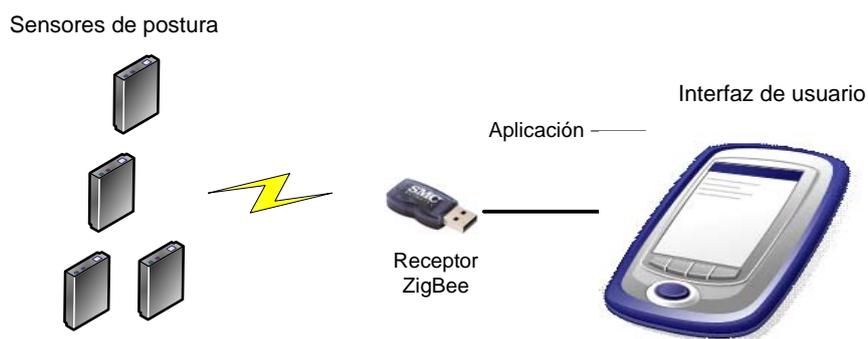


Fig. 1. Dispositivos sensores conectados al módulo de interfaz de usuario

En la Fig. 2 se observa un dispositivo comercial con cables. Resulta obvia la ventaja de disponer de dispositivos inalámbricos, para simplificar la colocación de los dispositivos, aumentar la libertad de movimientos...



Fig. 2. Dispositivo electrónico con cables

Existen sistemas comerciales con prestaciones similares a las que proponemos lograr, pero a un coste mucho más elevado. Por ejemplo, el sensor de inclinación “Inline Inclínometer” de Noraxon cuesta 992,76 €. A esto hay que añadir el sistema de captación de señales y de transmisión, que cuesta a partir de 20.000 € eso sí, con varios canales y muchas posibilidades de conectar diversos sensores. A un precio más asequible está el sistema ofertado por el Instituto de Biomecánica de Valencia, 9.019 €. En cualquier caso, todos estos sistemas incluyen muchas más posibilidades que lo que requerimos en este proyecto y su adquisición resulta prohibitiva en muchos colegios.

2.4.-Metodología

Partiendo de la previa investigación de profesores universitarios, se tratará de combinar dicha investigación con la finalidad funcional y comunicativa que se pretende dar al producto.

En primer lugar el grupo de fisioterapeutas participantes en el estudio, valorarán el dispositivo de bajo coste para la medición de la postura.

Se utilizará el prototipo para medir a una muestra reducida de niños primero en el servicio de fisioterapia para comprobar el funcionamiento del dispositivo y luego en las aulas de infantil y básica IV seleccionadas por las características motrices de su alumnado. Estos fisioterapeutas se encargarán de mostrar al profesorado cómo colocar de forma estandarizada el dispositivo y cómo capturar y extraer los datos.

Para el testaje, el dispositivo para la medición de la postura se colocará en distintos niveles y puntos anatómicos de referencia, tanto de tronco como de extremidades.

Los niveles anatómicos serán elegidos según la facilidad y fiabilidad de los datos obtenidos de cara al profesorado que estará en contacto con el alumnado del muestreo.

Posteriormente, se dará a conocer al resto de los profesionales para analizar y valorar la aplicación a diferentes áreas del desarrollo del alumno (cognitivo, comunicación, autonomía) y ponerlo en práctica en las aulas.

Los fisioterapeutas lo evaluarán desde un punto de vista funcional contando con la colaboración del resto del claustro y de los Servicios Educativos complementarios (Orientadora, ATS y AEE) y se propondrán ideas a fin de conseguir una mayor eficacia y eficiencia del producto.

ETAPAS:

1-Elaborar un plan conjunto que evalúe el dispositivo para la medición de la postura: se realizarán las reuniones pertinentes entre los miembros de los diferentes grupos integrantes.

2- Aplicación del dispositivo en el colegio Alborada. Los miembros de Tecnodiscap del Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicación serán los responsables de aplicar la normativa que deberá cumplir el producto final.

3-En primer lugar, se pondrá en práctica el estudio en la sala de fisioterapia para determinar el protocolo de actuación (colocación del dispositivo, orden en la realización de la medición, etc). Tras haber valorado el dispositivo y la correcta utilización del mismo, será mostrado y enseñado a los docentes, para que puedan aplicarlo en el desarrollo de sus tareas con el alumnado, siguiendo las indicaciones del fisioterapeuta.

4-Puesta en común: periódicamente se reunirán todos los miembros del equipo de trabajo para poner en común todas las experiencias adquiridas y se entresacarán conclusiones de mejora tanto a nivel técnico como en su aplicación funcional.

5-Elaboración y presentación de la memoria final.

Concluiríamos así una primera fase del proyecto a la espera de proseguir con una segunda fase en el transcurso del curso escolar 2009-2010 donde se aplicarían mejoras según la experiencia obtenida.

2.5.-Organización y temporalización

Etapas:	Responsable	Organismos implicados	Fecha finalización
1 - Elaborar el proyecto de cooperación.	Coordinador del proyecto	-Colegio "Alborada" -Dpto. Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.	Junio 2008
1 - Elaborar el plan de evaluación para el dispositivo para la medición de la postura.	Coordinador del proyecto	-Colegio "Alborada" -CPR Zaragoza -Dpto. Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.	1º Tr. Curso 2008
2 - Desarrollo del dispositivo para la medición de la postura e implantación primero en la sala de fisioterapia del colegio "Alborada".	Profesores del Dpto. de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones	-Dpto. Ingeniería Electrónica y Comunicaciones	1º y 2º Tr. Curso 2008
3 - Utilización por parte de los fisioterapeutas y evaluación funcional. Una vez hecho esto, se aplicaría en las aulas.	Equipo directivo "Alborada"	-Colegio "Alborada" -CPR Zaragoza.	3º Tr. Curso
4 - Puesta en común de conocimientos y experiencias	Coordinador del proyecto	-Colegio "Alborada" -CPR Zaragoza y Dpto. Ingeniería Electrónica y Comunicaciones	3º Tr. Curso
5 - Elaboración y presentación de la memoria final	Coordinador del proyecto y responsable económico	Dpto. Ingeniería Electrónica y Comunicaciones	Junio 2008

2.6.-Evaluación prevista del proceso

Se valorarán tanto el desarrollo del proceso como el producto.

3 – Presupuesto estimado

3.1. – Material fungible y de reprografía

Material utilizado para las reuniones conjuntas, elaboración y encuadernación de materiales y de la memoria final del proyecto

TOTAL 3.1: 500 €

3.2. – Material bibliográfico y publicaciones

No se incluye partida por este concepto.

TOTAL 3.2: 0 €

3.3. – Material diverso de utilización docente

Material para la fabricación de los prototipos de dispositivos electrónicos de medición e interfaz de usuario que utilizarán los docentes: componentes electrónicos, placas de circuito impreso, cajas y soportes para su fijación al cuerpo...

No se incluye el desarrollo del software del microcontrolador ni el del interfaz de usuario en sistema empotrado, por considerarse trabajo voluntario.

La tabla siguiente desglosa el coste para 2 sistemas de medición postural. Cada uno consiste en 4 dispositivos sensores que se pueden colocar simultáneamente en distintas partes del cuerpo y un dispositivo de interfaz de usuario (tipo PDA) que se comunica inalámbricamente con los sensores para configuración y visualización de las medidas.

Prototipos del Dispositivo

Concepto	Descripción	Precio/ud (€)	Unidades	Precio
PIC16F876	Microcontrolador	4,00	8	32,00
MMA7260Q	Acelerómetro 3 ejes	6,00	8	48,00
ZigBee	Modulo ZigBee	39,00	8	312,00
FA1	Fuente de alimentación DC/DC (integrado + pasivos)	15,50	8	124,00
Otros	Pasivos, caja y varios	16,00	8	128,00
Placa circuito impreso	PCB dimensión (2x5cm)	9,00	8	72,00
Batería	Rechargeable Li-Ion battery 600mA, 3.3V	5,50	8	44,00
Cargador batería	Cargador batería Li-Ion	25,00	8	200,00
Interfaz usuario	Sistema con pantalla tipo PDA con USB	380,00	2	760,00
Modulo ZigBee	Módulo USB ZigBee	30,00	2	60,00
Soldadura y montaje	Serv. de Instrum. Científ. Electrónica (U. Zaragoza)	18,00	60	1080,00
Accesorios y sujeción	Serv. de Mecánica de Precisión (U. Zaragoza)	18,00	20	360,00
TOTAL				3220,00

TOTAL 3.3: 3220 €

3.4. – Desplazamiento y Asesorías

Asesoría Mercado CE, Directivas, Normas y Definición de Ensayos por parte de un Laboratorio Eléctrico (se ha considerado un presupuesto previo solicitado al Instituto Tecnológico de Aragón).

TOTAL 3.4: 1.160 €

3.5 – Gastos de coordinación

No se incluye partida por este concepto al considerarse un trabajo voluntario.

TOTAL 3.5: 0 €

Total Gastos

3.1. – Material fungible y de reprografía.....	500 €
3.2. – Material bibliográfico y publicaciones.....	0 €
3.3. – Material diverso de utilización docente.....	3.220 €
3.4. – Desplazamiento y Asesorías.....	1.160 €
3.5. – Gastos de coordinación.....	0 €
<i>Total Gastos</i>	4.880 €

En Zaragoza a 19 de Junio de 2008

Fdo.: Pablo Herrero Gallego
(Coordinador del Proyecto)

Anexo – Referencias

ABASCAL, J., SEVILLANO, J. L., CIVIT A., JIMÉNEZ G. y FALCÓ J. (2005) “Integration of heterogeneous networks to support the application of Ambient Intelligence in assistive environments”. Home-Oriented Informatics and Telematics Conference (HOIT 2005). ISBN 0-387-25178-2, pp. 323-335, York, (UK), April 2005.

ACERO, J. y ARTIGAS, J.I. (2008) “Evaluación del aprendizaje en electrónica mediante pruebas consistentes en ítems de elección múltiple”. VIII Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAEE2008. Aceptado para su presentación en Julio 2008.

ARTIGAS, J.I., ACERO, J. y ASENSIO, A. (2008) “Experiencia de evaluación continua en grupos numerosos: asignatura de Sistemas Electrónicos”. VIII Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAEE2008. Aceptado para su presentación en Julio 2008.

ARTIGAS, J.I., BARRAGÁN, L.A., ORRITE, C y URRIZA, I. (2004) “Libro Electrónica Digital. Aplicaciones y Problemas con VHDL”. VI Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAEE2004.

ARTIGAS, J.I., BARRAGÁN, L.A., ORRITE, C y URRIZA, I. (2002) Electrónica Digital. Aplicaciones y problemas con VHDL. Colección Prentice Práctica. Ed. Pearson Educación, S.A. ISBN 84-205-3222-3.

ARTIGAS, J.I. y FALCÓ, J. (2000) “Evaluación del aprendizaje de los alumnos en grupos numerosos: Una propuesta concreta”. IV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAEE2000, Actas del TAEE2000, pp. 59-62, ISBN 84-600-9596-7.

ARTIGAS, J.I., BARRAGÁN, L.A., ORRITE, C (2000) “Libro aplicaciones y problemas de electrónica digital”. IV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAEE2000, Actas del TAEE2000, pp. 241-244, ISBN 84-600-9596-7.

ARTIGAS, J.I., BARRAGÁN, L.A. y ORRITE, C. (1999) Aplicaciones y problemas de Electrónica Digital. Colección Textos Docentes. Ed. Prensas Universitarias de Zaragoza. ISBN 84-7733-526-5.

CASAS, R (2004) “Sistema interoperable de localización en interiores aplicado a tecnología asistencial”. Tesis Doctoral. Dpto. Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. Universidad de Zaragoza. Director: Dr. D. J. Falcó.

CASAS, R., MARCO, A., FALCÓ, J., ARTIGAS, J.I. and ABASCAL, J. (2006) “Ethically Aware Design of a Location System for People with Dementia”, ICCHP 2006, LNCS 4061, pp. 777–784, 2006. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

CASAS, R., MARCO, A., FALCÓ, J., GRACIA, H. and ARTIGAS, J.I. (2006) “DALMA – Location Aware Alarm System for People with Disabilities”, ICCHP 2006, LNCS 4061, pp. 744–751, 2006, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

CASAS, R., MARCO, A. GUERRERO, J.J. and FALCÓ, J. (2006) “Robust Estimator for Non-Line-of-Sight Error Mitigation in Indoor Localization”, EURASIP Journal on Applied Signal Processing, ISSN 1110-8657. 2006.

CIENCIA (2008) RESOLUCIÓN de 18 de abril de 2008, de la Dirección General de Investigación, Innovación y Desarrollo, de la convocatoria, para el año 2008, de subvenciones a la actividad investigadora de los grupos de investigación reconocidos por el Gobierno de Aragón, y reconocimiento de nuevos grupos de investigación. Departamento de Ciencia, Tecnología y Universidad. Publicado en el BOA número 55 de 9 de Mayo de 2008.

FALCÓ, J., MURO, C., PLAZA, I. and ROY, A. (2006) “Temporal Orientation Panel for Special Education”, ICCHP 2006, LNCS, 831-838, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

FALCÓ, J., MURO, C., FALCÓ, J.M., CASAS, R., MARCO, A., ARTIGAS, J.I., ABASCAL, J. y SEVILLANO, J.L. (2005) “Entornos de apoyo tecnológico a la autonomía y cuidado de personas mayores o con discapacidad” I+S, Informática y Salud, Revista de La Sociedad Española de Informática de la Salud, ISSN: 1579-8070, vol. 40.

FALCÓ, J.M., CASAS, R., MARCO, A. and Falcó, J. (2006) “Guiding Support for ‘Way-Finding’ in Unknown Buildings: Design and Evaluation”, ICCHP 2006, LNCS 4061, pp. 724–731, 2006. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

FALCÓ, J.M., CASAS, R., MARCO, A. y FALCÓ, J.L. (2005) “Using GUIA to ‘wayfinding’ in unknown buildings” I Simposio sobre computación ubicua e inteligencia ambiental UCAmI’2005), Actas del UCAmI’2005, pp. 431-437, ISBN: 84-9732-442-0.

FALCÓ J.M y FALCO J.L (2003) "Guiado de personas con discapacidad en interior de edificios públicos" Montajes e Instalaciones, Editorial Alcion, Madrid, pp. 76-83.

IAEEFP (1994): Nuevas Tecnologías - Educación Especial. Sevilla: CEC/JA. Reproducido en *Interedvisual*.

HERRERO GALLEGO P, TRICÁS MORENO JM, LUCHA LÓPEZ MO, CAUDEVILLA POLO S, HIDALGO GARCÍA C, ESTÉBANEZ DE MIGUEL E. (2007) “Indirect influence of specific Kaltenborn glide mobilizations of the carpal joint on a subject with neurological impairments. Journal of Bodyworks and Movement Therapies. Vol 11. Number 4. October 2007.

HERRERO GALLEGO P, MAYORAL DEL MORAL O. “A Case Study Looking at the Effectiveness of Deep Dry Needling for the Management of Hypertonia”. Revista Journal of Musculoskeletal Pain. San Antonio, Texas, EEUU. Vol 15. Issue 2

LALOMA, M. (2005): Ayudas Técnicas y Discapacidad. Madrid: CERMI

ORRITE, C., BARRAGÁN, L.A. y ARTIGAS, J.I. (2000) “Tarjeta de voltímetro digital para prácticas con Plus”. IV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAEE2000. Actas del TAEE2000, pp. 335-338, ISBN 84-600-9596-7.

PLAZA, I., ASENSIO, A., ARTIGAS, J.I., FALCÓ, J. y BLASCO, R. (2007) “Tecnologías en la educación de niños con discapacidad intelectual: Ejemplos concretos de aplicación en la orientación temporal y en el entrenamiento multifunción”. VIII Simposio Nacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Educación (SINTICE 2007). Actas del SINTICE 2007, pp. 347-350, ISBN 978-84-9732-597-4.

SERRANO, J., ARTIGAS, J.I. y SANZ, A. (2000) “Tarjeta de evaluación para circuitos analógicos reconfigurables TRAC020”. IV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAEE2000. Actas del TAEE2000, pp. 301-304, ISBN 84-600-9596-7.

SEVILLANO, J.L., FALCÓ, J.L., ABASCAL, J., CIVIT-BALCELLS, A., JIMÉNEZ, G., VICENTE, S. y CASAS, R. (2004) “On the Design of Ambient Intelligent Systems in the Context of Assistive Technologies”. Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag Heidelberg, ISSN: 0302-9743, Vol. 3118 / 2004, pp. 914 – 921.

*Proyecto de cooperación con la
Universidad: Memoria*

*“Dispositivos electrónicos de bajo coste
para medición de la postura en niños
con discapacidad motriz”*

*Colegio Público de Educación Especial “Alborada”
Curso 08/09*

Índice

1.	Contexto en el que se ha desarrollado el proyecto.	2
2.	Objetivos del proyecto.	5
2.1.	Necesidades y bases fisioterapéuticas.	5
2.2.	Objetivos tecnológicos.	5
3.	Desarrollo del proyecto.	7
3.1.	Metodología.	7
4.	Descripción del dispositivo biométrico.	8
4.1.	Descripción instrumental actual y metodología de uso.	8
4.2.	Descripción del sistema desarrollado.	10
4.2.1.	Definición especificaciones técnicas.	10
4.2.2.	Búsqueda de sistemas que cumplan las especificaciones técnicas.	10
5.	Conclusiones y trabajo futuro.	17
5.1.	Objetivos técnicos.	17
5.2.	Objetivos fisioterapéuticos.	17
5.3.	Evaluación con usuarios.	18
6.	Conclusiones y trabajo futuro.	19
7.	Bibliografía.	20

1. Contexto en el que se ha desarrollado el proyecto.

Este proyecto se ha llevado a cabo en el Centro Público de Educación Especial Alborada (CPEE Alborada). Es un centro escolar público dependiente del Departamento de Educación del Gobierno de Aragón. El sistema educativo aragonés de enseñanza no universitaria está estructurado en la enseñanza de carácter ordinario que comprende los colegios e institutos públicos, concertados y privados. Dentro de estos centros hay algunos de carácter público que tienen la consideración de centro ordinario con aulas de integración. Y otros centros están dedicados en exclusiva a impartir la educación especial.

Los centros ordinarios que tienen aulas de integración para niños deficientes motóricos son siete en la capital aragonesa. Son aulas donde asisten a tiempo parcial o total niños del centro que tienen problemas motóricos leves y que ligeras variaciones en su currículo educativo hacen que puedan seguir los estudios en el centro.

Cuando existen niños con un alto grado de discapacidad que implica una variación importante en el currículo educativo y o necesitan de ciertos recursos materiales y terapéuticos que las aulas de integración no pueden asumir, pasan a un centro para alumnos con necesidades educativas especiales, o lo que se denomina un centro de educación especial.

Hay en la capital aragonesa cuatro centros de educación especial que se reparten cerca de 300 usuarios.

El proyecto ha sido propuesto por el Colegio Público "Alborada", éste, es un centro de Educación Especial que escolariza alumnos de entre 3 y 21 años, con necesidades educativas muy especiales y muy significativas. Durante el curso actual la distribución según discapacidades es la siguiente, del total de 99 alumnos:

- Plurideficiencias (Psíquicas más otra u otras discapacidades asociadas, fundamentalmente motora): 72 alumnos
- Monodeficiencia (sin discapacidad asociada): 27 alumnos.

Especificando, del total de alumnado plurideficiente:

- Alumnado con plurideficiencia por discapacidad intelectual y motora: 52 alumnos
- Alumnado con plurideficiencia por discapacidad intelectual y TGD: 15 alumnos
- Alumnado con plurideficiencia por discapacidad sensorial (visual o auditiva): 5 alumnos
- Alumnado con monodeficiencia por retraso mental grave: 17 alumnos
- Alumnado con monodeficiencia por retraso mental severo: 5 alumnos
- Alumnado con monodeficiencia por retraso mental moderado: 4 alumnos
- Alumnado con monodeficiencia por trastorno psicótico: 1 alumno.

Por otra parte, tenemos un total de 22 alumnos inmigrantes procedentes de Guinea, Marruecos, Gambia, Rumania, Colombia, Portugal y Ecuador.

Las familias de nuestros alumnos proceden de Zaragoza capital, de diferentes barrios, y de diferentes localidades, en concreto La Puebla de Alfinden, Monegrillo, Épila, Calatorao, La Almunia de Doña Godina, Calatayud, Villanueva de Gállego, San Juan de Mozarrifar o Villamayor

- En cuanto al equipo de profesionales que trabajan con el alumnado, destacar la heterogeneidad de perfiles profesionales: maestros con diversas especialidades (Pedagogía Terapéutica, Logopedia, Música y Ed. Física), Profesor de FP, Auxiliares de Educación Especial, ATS, Orientadora Escolar, Trabajadora Social y Fisioterapeutas, además de diverso personal de administración y servicios (Monitores de comedor, mantenimiento, cocineras, conserjes...).

Todo el equipo de profesionales que trabajan en el Centro, tienen como característica común su gran implicación en la tarea educativa, cada uno desde su competencia, pero con una gran disponibilidad para abordar el reto educativo que supone dar una respuesta educativa a las diversas situaciones que se plantean, teniendo en cuenta que nuestros alumnos y alumnas tienen en muchos casos dificultades graves y permanentes, no sólo de aprendizaje, sino de movilidad, de comunicación, de autonomía, de socialización.

Dentro de este marco educativo, la intervención con el alumnado que en su mayoría presenta graves problemas, como son deficiencias motóricas e intelectuales, plantea problemas e inquietudes, siendo las mismas un reto para el equipo multidisciplinar que intervienen a lo largo del proceso educativo. Este equipo se coordina con el fin de lograr una serie de objetivos, como son la mejora de la calidad de vida del alumno, el aumento de su independencia y el desarrollo intelectual, para que el plano físico y el cognitivo se combinen y se logren así mejoras en la medida que estas sean posibles.

Así con todo esto, gracias a la disponibilidad del Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicación de la Universidad de Zaragoza, pretendemos gestar y consolidar una colaboración de investigación y desarrollo de dispositivos técnicos que ayuden a fomentar la CALIDAD DE VIDA de nuestro alumnado, a corto, medio y largo plazo.

Es común que los niños escolarizados en centros de educación especial tengan como consecuencia de su discapacidad psíquica y/o física alteraciones de la postura que repercuten negativamente sobre su desempeño diario en las tareas del aula. Los fisioterapeutas de los centros educativos colaboran con los maestros en lograr la mejor posición posible de los alumnos, de forma que se facilite su atención y participación, así como la interacción con el resto de compañeros.

En los centros educativos la valoración del alumnado se suele hacer, en el mejor de los casos, con dispositivos sencillos como el inclinómetro y el goniómetro, lo que no ofrece una gran fiabilidad a la hora de valorar si realmente el alumno está mejorando su postura con la intervención propuesta por fisioterapeutas y docentes.

La idea de desarrollar un dispositivo electrónico de bajo coste surgió de la necesidad de poder realizar valoraciones más exactas que permitieran a fisioterapeutas y docentes adaptar de

forma más objetiva el puesto escolar de estos niños con alteraciones de la postura. Estos dispositivos, contruidos sobre una base tecnológica, permiten una mayor precisión que los instrumentos tradicionales y se espera que tras la experimentación de campo los resultados permitan obtener mejoras en la postura de los alumnos en el aula y por extensión en su desarrollo académico, personal y social, en la medida en que afecta a la interacción con el resto de sus compañeros.

2. Objetivos del proyecto.

2.1. Necesidades y bases fisioterapéuticas.

El objetivo del presente proyecto ha sido desarrollar un sistema básico de medida postural, con unas prestaciones comparables a las de los dispositivos electrónicos estándar actuales, pero a un coste lo suficientemente reducido para permitir el acceso al mismo a un colectivo mayor de profesionales. Esta tecnología no se ha usado hasta la fecha en centros escolares ya que su precio era muy elevado, aunque es previsible que con el prototipo final alcanzado pueda hacerse extensivo a un gran número de centros educativos para poder llevar un mejor control y seguimiento de su alumnado.

El segundo objetivo del proyecto, que por cuestión de falta de coincidencia con el calendario académico no ha podido ser desarrollado, es su validación mediante pruebas de campo con los usuarios finales (alumnos). El dispositivo ha superado los exámenes de fiabilidad en el laboratorio pero es preciso desarrollar pruebas de campo que muestren resultados en su aplicación práctica real.

A lo largo del proceso de evaluación será igualmente analizada la usabilidad y prestaciones globales del sistema, para inferir posibles mejoras. Todo el conocimiento adquirido constituirá la base de validación y mejora del dispositivo final. Para alcanzar un resultado óptimo, se mantendrá una alta colaboración interdisciplinar a lo largo del desarrollo de todo el proyecto.

2.2. Objetivos tecnológicos.

El dispositivo desarrollado permite la medición postural de la persona sin interferir en el movimiento de la misma, es decir que la incorporación del dispositivo o de los sistemas de sensado permite el libre movimiento de la zona del cuerpo cuya desviación se quiere medir para así conseguir medidas lo más precisas posibles. La implicación directa de este requerimiento afecta en primer lugar al tamaño del dispositivo, que constituye un factor determinante en el resto de requerimientos del desarrollo. Adicionalmente se debe permitir la sujeción del dispositivo a las diferentes partes del cuerpo, sin que esto suponga una interferencia en el movimiento normal de la articulación.

Cobra especial importancia en el caso de la libertad de movimiento que el dispositivo no tenga ningún cable, ni de alimentación, ni de transmisión de datos. En el caso de la alimentación se deberá poder alimentar a batería o pilas. Se han evaluado las ventajas e inconvenientes de ambos sistemas, dando preferencia al que pueda garantizar el buen funcionamiento del dispositivo con un coste económico menor. El sistema preferible ha resultado ser las baterías de litio debido a su posibilidad de recarga después de cada medida sin verse afectadas por el efecto memoria propio de algunas baterías. Además presentan la ventaja de que su peso es muy inferior al de cualquier otra batería de similares características.

La medición postural se realizará en los tres ejes de coordenadas X, Y, Z, con una precisión estimada teóricamente por el personal de fisioterapia. Dicha precisión puede ser incrementada durante las pruebas con pacientes reales mediante un rediseño en el dispositivo, en el caso de que se estime que no es capaz de desarrollar la labor para la que ha sido creado. Junto a los requerimientos de precisión, se han tenido en cuenta las restricciones anteriormente expuestas en lo referente a tamaño y consumo. Los datos obtenidos, son tratados y enviados inalámbricamente. La gestión de este sensor postural, no sería posible sin un sistema microcontrolador encargado del pre-procesamiento de las medidas y de la gestión de comunicaciones y alimentación, ayudando a cumplir los objetivos en cuanto a autonomía y transmisión de datos de manera más eficiente.

Todos los datos adquiridos son enviados a un dispositivo para su posterior procesamiento. Dicho dispositivo debe ser capaz de conectarse inalámbricamente con el aparato, procesar los datos, guardarlos y permitir más tarde recuperarlos. En este sentido se podrá utilizar una PDA, PC, sistema embebido o similar con un programa de poca complejidad que permite únicamente mostrar los datos enviados por el medidor postural.

3. Desarrollo del proyecto.

3.1. Metodología.

Dado el carácter multidisciplinar de este proyecto, se han utilizado dos metodologías diferentes para su desarrollo. El desarrollo del dispositivo ha seguido una metodología tradicional en los proyectos de investigación técnicos. Tras una revisión del estado del arte de los sistemas disponibles, se entra en un bucle en el que se realizan los diferentes prototipos. En este ciclo se desarrollan, evalúan y refinan los desarrollos hasta cumplir las especificaciones planteadas. Finalmente se validan los resultados y se analizan los resultados. A lo largo de todo el proceso de diseño, la participación del equipo fisioterapéutico resultará crítico en los aspectos referentes a la usabilidad del dispositivo, que deberá ser similar a la de los dispositivos tradicionales. Sin embargo, la sinergia entre técnicos y fisioterapeutas permitirá obtener un prototipo, cuyo uso resulte mucho más práctico, al automatizar el proceso y ofrecer la capacidad de almacenar los datos.

4. Descripción del dispositivo biométrico.

4.1. Descripción instrumental actual y metodología de uso.

Las mediciones posturales son frecuentemente empleadas tanto por médicos como por fisioterapeutas para valorar el acortamiento muscular y las rigideces articulares en niños con parálisis cerebral infantil (PCI). Los resultados obtenidos en la valoración sirven posteriormente tanto para planificar tratamientos de rehabilitación como para decidir sobre el momento adecuado para llevar a cabo acciones médicas como las férulas seriadas (serial casting), infiltración de toxina botulínica¹⁻³ o cirugía ortopédica⁴⁻⁶. A pesar de que los avances tecnológicos permiten disponer de equipamiento cada día más sofisticado para realizar estas mediciones goniométricas, el instrumento más comúnmente utilizado a nivel clínico continúa siendo el goniómetro universal y en menor medida el inclinómetro. Es necesario por tanto disponer de estudios que avalen la fiabilidad de estos instrumentos de medición en una población con unas características tan concretas como la de niños con PCI.

Los estudios realizados hasta la fecha nos muestran cómo el número de examinadores⁷⁻¹² y las características propias de cada articulación¹³⁻¹⁴ entre otros factores, afectan a la consistencia de las mediciones goniométricas repetidas. Cuando la fiabilidad intraexaminador y/o interexaminador de las mediciones goniométricas se estudia en niños con PCI, encontramos todavía más factores que dificultan la concordancia de las mediciones intra e interexaminador. Algunos de los factores condicionantes señalados por diferentes autores son: a) la experiencia del examinador para diferenciar el final del rango de movimiento articular debido a cambios estructurales, a la hipertonidad o a una resistencia intencionada del niño¹⁵; b) la variabilidad del tono muscular que tienen los niños con PCI¹⁵⁻¹⁹.

A pesar de esto, los estudios publicados hasta la fecha coinciden en que las mediciones tomadas por un mismo examinador en la misma sesión y en el mismo día han demostrado ser más fiables que las tomadas por diferentes examinadores entre sesiones y en diferentes días¹⁵⁻²⁰. También se ha observado que esta fiabilidad interexaminador mejora con la práctica^{16,17} y que la fiabilidad es mayor en individuos que tienen un tono normal que en aquellos que tienen hipertonía¹⁵⁻¹⁸.

Desde un punto de vista más clínico aunque basados en la evidencia científica, diferentes autores informan de errores de medición entre 10º y 15º en la medición goniométrica de músculos monoarticulares en una misma sesión por un mismo examinador^{15,17,18} y que este error superaba los 15º cuando se trataba de mediciones interexaminador entre sesiones¹⁵. Basados en estos datos Stuberg sostiene que las mediciones goniométricas no deberían ser utilizadas para establecer juicios clínicos¹⁵.

Para realizar estas medidas posicionales, en la actualidad se encuentran disponibles diferentes tipos de sistemas. Un estudio de la oferta actual permite realizar la siguiente clasificación conceptual:

-Sistemas de medida mecánicos:

Suponen la representación más simple, basados en la medida visual directa en escalas angulares de apertura o desviación de un elemento tipo plomada.

-Sistemas de medida electrónicos:

La incorporación de sensores electrónicos, y la correspondiente visualización objetiva del dato, está principalmente orientada a eliminar la incertidumbre introducida por el examinador durante el proceso de medida. Pueden considerarse dos gamas bien diferenciadas de productos:

-Estándar: Dispositivos con prestaciones avanzadas (electrogoniómetros y electroinclinómetros), orientados al uso clínico. Su principal inconveniente radica en su coste, que puede resultar relativamente alto para algunos centros.

-Alta precisión, calibración: Basados en elementos sensores de alta precisión, que permiten inferir la posición de modo muy exacto, pueden disponer de tecnologías redundantes a la hora de obtener los datos. El proceso de medida suele ser más laborioso, ya que puede implicar un proceso de posicionamiento y calibración previo del sistema.

En el mercado se encuentran disponibles una amplia gama de soluciones. Por ejemplo, el sensor de inclinación "Inline Inclinometer" de Noraxon²¹ cuesta 992,76 €. Comúnmente, para poder utilizar estos sensores, es necesario disponer del sistema de captación de señales y de transmisión, con un precio entorno a 20.000 € para el caso de Noraxon. A un precio más asequible está el sistema ofertado por el Instituto de Biomecánica de Valencia²², 9.019 €. Igualmente es posible disponer de sistemas aun más avanzados que permiten una captura global y precisa del movimiento, este tipo de soluciones son ofrecidas por diferentes empresas, a modo de ejemplo se indicara, Biometric²³, Codamotion²⁴, X-Sens²⁵. En cualquier caso, todos estos sistemas incluyen muchas más posibilidades que las que se requieren en este tipo de medida, aunque por el contrario su adquisición resulta prohibitiva en muchos centros de rehabilitación públicos (colegios, centros base, hospitales) y privados (asoc. de enfermos, clínicas privadas, etc).

Según los datos expuestos, puede afirmarse que los dispositivos cinesiológicos avanzados, permiten hoy en día realizar mediciones de la movilidad articular con una gran precisión, aunque desafortunadamente tienen poca o nula repercusión sobre los pacientes, ya que estos equipamientos resultan muy costosos y su utilización suele estar dirigida hacia la investigación. Los sistemas electrónicos estándar (electrogoniómetros y electroinclinómetros) son capaces de medir la movilidad articular con una precisión intermedia entre las herramientas clínicas tradicionales y los equipamientos de alta precisión anteriormente citados. Aun así el coste de estos instrumentos no suele ser afrontable por la mayoría de servicios de rehabilitación que son quienes valoran y deciden la indicación de técnicas fisioterápicas, médicas y/o quirúrgicas basado en los resultados de dichas pruebas.

4.2. Descripción del sistema desarrollado.

4.2.1. Definición especificaciones técnicas.

La definición de las especificaciones técnicas se realiza junto a un grupo de fisioterapeutas que establecen los requerimientos mínimos del sistema así como algunos deseables en el caso de que no sea en detrimento de las funciones básicas de medición, autonomía y manejabilidad.

En este aspecto se debe realizar una medición simultánea de los tres ejes coordenados sin interferir en la movilidad del usuario. Dicha medida se debe poder realizar en condiciones normales, sin ningún precaución en cuanto al sistema electrónico se refiere, únicamente las debidas a la correcta colocación del mismo, la cual deberá ser lo menos compleja posible. El aparato debe tener una autonomía en stand-by mínima de 10 horas y en medida de unas 3 horas para poder realizar las medidas. Las baterías deberán poderse recargar sin que sea necesario que se hallan consumido en su totalidad para así poder tener el dispositivo recargando siempre y por tanto preparado en cualquier momento para efectuar una nueva medida.

Al establecerse una comunicación inalámbrica con el sistema de recepción de datos, se deberá suministrar también tanto el hardware (dispositivo adaptador inalámbrico) como el software (drivers y sistemas de captación de datos) para poder capturar las medidas en el PC.

4.2.2. Búsqueda de sistemas que cumplan las especificaciones técnicas.

a) Sistema de sensado:

Para no tener que optar por dispositivos voluminosos que necesiten partes móviles en contacto, se han descartado muchos de los sistemas tradicionales. Junto a la molestia que implica sujetar dos partes móviles a la persona, se interfiere en el correcto movimiento de la persona. Existen otra serie de dispositivos basados en efectos no mecánicos (como los giróscopos) que tienen la pega de un precio relativamente elevado, aunque ofrecen prestaciones superiores a las requeridas.

Los acelerómetros han sido la opción elegida debido a que no necesitan partes móviles, tienen un precio asequible. Presentan además un consumo reducido por lo que las probabilidades de que cumplan los requerimientos con un coste bajo son bastante altas. En primer lugar se testaron acelerómetros de 8 bits analógicos debido a su reducido precio, en el caso de que estos no cumplan los requerimientos mínimos puede incrementarse tanto el número de bits como modificar la tecnología del acelerómetro, aunque ello supone un aumento del consumo eléctrico (y por tanto de la autonomía) además de en el precio del propio sensor.

b) Sistemas de alimentación

La alimentación se realiza mediante baterías de litio, principalmente debido a su bajo peso, la posibilidad de recargarlas sin que estén agotadas y realizar recargas incompletas. Ello permite conectar el dispositivo al cargador después de cada medida y utilizarlo sin que la recarga haya terminado por lo que las posibilidades de que este no se pueda utilizar debido a que las baterías estén descargadas se reducen en gran medida.

El modelo de baterías serán las utilizadas en dispositivos tipo iPod nano[®] debido tanto a su reducido precio como a la amplia disponibilidad en el mercado, facilitando el cambio de la misma en caso de avería sin necesidad de acudir a un servicio técnico especializado.

El sistema de carga se integrará en el propio dispositivo siendo únicamente necesaria la conexión de un alimentador de corriente continua a un voltaje superior a 5 V e inferior a 7V, con una corriente no inferior a 200mA. Dichos cargadores se pueden encontrar en cualquier centro comercial por un precio muy reducido.

c) Sistema de control y pre-procesamiento

El sistema de control y pre-procesamiento deberá ser capaz de captar la señal suministrada por el acelerómetro y enviarla inalámbricamente a un equipo informático. Ello descarta la necesidad en primer lugar de sistemas de procesamiento digital de señal (DSPs) ya que no se realiza ningún tipo de procesado complejo en el dispositivo, por lo que no es necesario integrar un dispositivo de cálculo avanzado. Este tipo de dispositivo, implicaría un incremento del consumo y del precio. La necesidad de un precio reducido y de un bajo consumo supuso la elección de un microcontrolador PIC (<http://www.microchip.com/>) de 8 bits, de prestaciones medias, (PIC18F2321). Un factor adicional que motivó esta selección es la experiencia de los desarrolladores del proyecto con este tipo de dispositivos, lo que facilita una programación más óptima del mismo.

d) Sistema de comunicaciones

El factor más determinante para la elección del sistema de comunicaciones es el consumo y alcance máximo requerido para cumplir las especificaciones. Debido a la experiencia de los integrantes del proyecto con redes ZigBee[®] se optó en primera instancia por la integración de este sistema de comunicaciones, en concreto mediante el módulo ETRX2 de la empresa Telegesis. Dicho módulo cumple las especificaciones del alcance (tiene un alcance de más de 50m teóricos) y un consumo muy bajo. La gestión del consumo puede verse optimizada en mayor medida si se hace un uso adecuado de los modos de stand-by cuando no es necesario el envío de datos o el propio aparato está en el mismo modo.

Los módulos ZigBee[®] seleccionados además, permiten un manejo directo desde cualquiera de los sistemas de control evaluados mediante un adaptador inalámbrico desarrollado por el mismo grupo, cuyo coste no supera los 80 € y que es compatible con todos los sistemas Microsoft Windows y Linux.

e) Sistema de recepción y almacenamiento de datos

Debido al reducido coste de los ordenadores basados en tecnología Intel Atom de bajo consumo, se optó por un equipo de este tipo ya que el sistema no tiene grandes requerimientos en cuanto a procesamiento de señal se refiere. Se ha considerado que la manera más cómoda para la gestión de dichos datos es por medio de una pantalla táctil, que simplifica la interacción con el usuario. Con estas premisas el dispositivo elegido ha sido un ASUS Eeetop que con un precio muy reducido (alrededor de 350€) cumple las características mínimas, permitiendo recibir los datos con un adaptador conectado que se diseñó a tal efecto, tiene pantalla táctil integrada,

reducido tamaño, varios gigas de disco duro para el almacenamiento de datos e incluso conexión de tarjeta de red para poder enviar los datos por internet o a un servidor central.

4.2.3.- Evaluación tecnológica de las posibles soluciones.

Todas las soluciones se evalúan de manera individual y conjunta, para ello en primer lugar los sensores se montaron sobre placas específicas de evaluación donde se sometieron a distintas situaciones de inclinación, aceleración, etc. midiéndose su respuesta. Además se comprobó la variación de dicha respuesta ante otros factores como el movimiento continuado, la diferencia de temperatura, la cercanía de aparatos electrónicos, el cambio rápido de posición, etc.

En el caso de los sistemas de control y pre-procesamiento, se optó por utilizar kits de desarrollo de la casa Microchip a los que se les conectaron las placas de pruebas del acelerómetro que a priori iba a ser el elegido para dicho proyecto. Se calculó el consumo en distintas situaciones así como la cantidad de recursos hardware consumidos del microcontrolador. Se ha seleccionado un microcontrolador con capacidades moderadamente holgadas para alcanzar las especificaciones. De este modo se ajusta el precio, pero en caso de necesitar un rediseño moderado, existe la posibilidad de ampliación.

Los sistemas de alimentación, tanto referente a la batería como a la recarga de la misma se calcularon en primer lugar teóricamente y después de hicieron diversas pruebas para estimar la correspondencia entre los cálculos teóricos y la realidad. El resultado de dichas pruebas fue que la autonomía del sistema era mucho menor de la calculada teóricamente (dentro de lo esperado) pero aún así muy superior a las 10 horas en Stand-by (casi 12 horas) y de las 3 horas en medida (casi 5 horas).

Una vez realizadas las pruebas de todos los componentes del sistema por separado se pasó a integrarlos para comprobar el comportamiento entre ellos, así como los datos finales en cuanto a peso, tamaño, autonomía, etc.

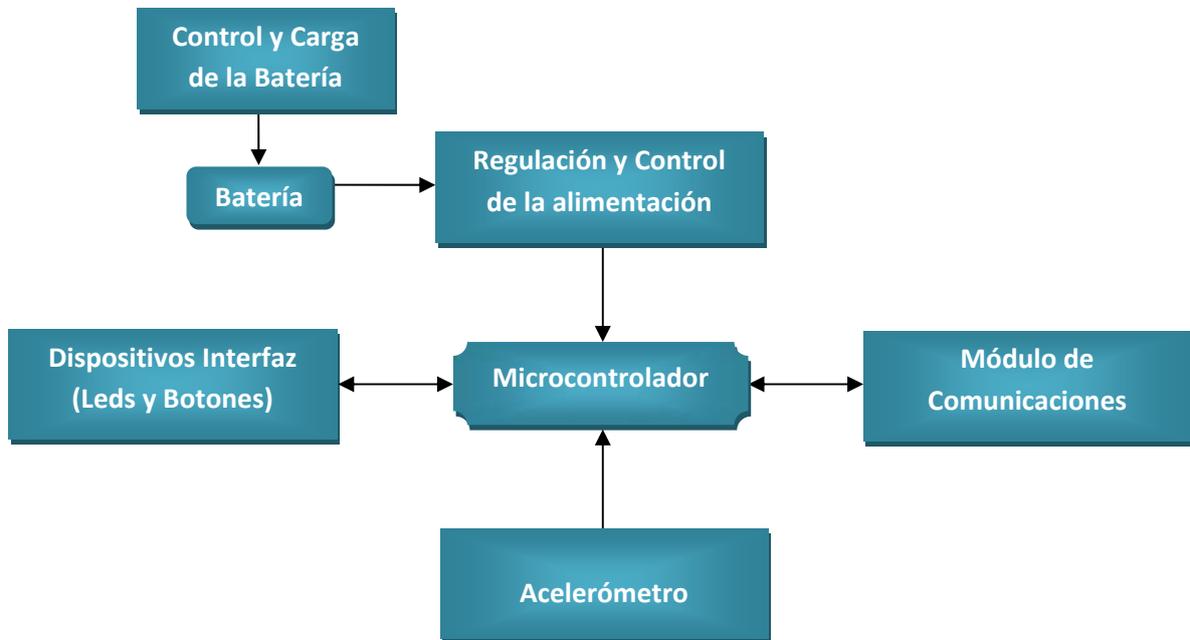
4.2.4.- Integración del sistema completo.

Con la validación de los subsistemas individuales, se procede a realizar la integración del sistema completo, primero del diseño del esquemático, para después proceder a la realización de los planos de la placa de circuito impreso. En primer lugar se fabricó la placa en las instalaciones de la Universidad de Zaragoza mediante un sistema CAM (Computer Aided Manufacturing) destinado a tal efecto. Los componentes de dichas placas fueron soldados manualmente en el laboratorio, para confeccionar un prototipo con el que poder evaluar si el sistema diseñado inicialmente era correcto, así como el cumplimiento de los diversos requerimientos del proyecto.

Una vez realizadas dichas pruebas se procedió a fabricar la placa de circuito impreso en una empresa externa de manera que se consiguiera un producto mejor acabado y más protegido a los distintos factores ambientales (humedad, óxido, etc.), además de facilitar la soldadura de los

componentes por lo que el producto resultante sí que se podía utilizar para su evaluación externa por personal no especializado en electrónica.

La evaluación no se podría realizar sin la integración del sistema en una caja que hubo que seleccionar y mecanizar para adaptarla a la placa de circuito impreso resultante y a los requerimientos del dispositivo inicialmente indicados.



a) Sistema de medida

El acelerómetro seleccionado es un Freescale MMA7260Q con una salida analógica en tensión comprendida entre 200-800mV/g para cada uno de los ejes, rango ajustable con fondo de escala 1.5/3/6g y tiempo de respuesta de 1ms. Dichas características hacen que este acelerómetro sea teóricamente el más adecuado, ya que además de cumplir los requerimientos respecto a precisión en la medida, puede alimentarse mediante una batería (2,2 – 3,6V) y tiene un consumo muy reducido, alrededor de los 0,5mA.

El acelerómetro está conectado al sistema controlador central, implementado con un microcontrolador PIC18F2321, el cual ofrece unas prestaciones más que suficientes para cumplir las especificaciones mínimas. Su consumo es bastante reducido respecto a otros microcontroladores de similares características. Destacar la elección del encapsulado SSOP para ocupar el mínimo espacio posible sin que ello suponga un incremento del precio del mismo.

Para el sistema de comunicaciones se ha optado por un módulo ZigBee de la empresa Telegesis, en concreto el modelo ETRX2, que se puede comunicar directamente con el microcontrolador mediante una UART, además de tener otras funciones propias para controlar periféricos, pasar a modo stand-by de menor consumo, etc. Dicho módulo permite un alcance superior a los 5 metros que se pedían como requisitos mínimos y permite conectarse a un

adaptador inalámbrico ya desarrollado por el grupo, para el cual hay software y drivers disponibles tanto para sistemas operativos Microsoft Windows como Linux.

Como sistemas de control se ha integrado un led bicolor controlado tanto por el microcontrolador como por el Zigbee lo que permite interactuar con el controlador del dispositivo y mostrarle distintos estados o modos de funcionamiento. Además dispone de dos botones que implementan diversas funciones de control, como empezar medida, parar, apagar, etc.

El sistema de alimentación se ha dividido en dos partes, en primer lugar la gestión de carga de la batería de litio se ha implementado mediante el integrado MCP73811. Se ha elegido dicho dispositivo debido a la sencillez de implementación, su reducido precio y su fiabilidad. La alimentación que recibe de la batería puede ser de voltaje variable, por lo que en primer lugar se deberá monitorizar si dicho voltaje es el adecuado para el funcionamiento del sistema, para lo que se ha optado por el integrado MCP111-315, el cual si la alimentación desciende de 3,15 voltios, apagará el sistema. Como la batería además de menos voltaje puede dar más, se ha integrado un regulador TC1015 que asegura que el voltaje de salida estará siempre alrededor de los 3.3V, evitando sobrevoltajes y permitiendo apagar la alimentación cuando la batería no sea capaz de alimentar todo el sistema y por tanto evitar un mal funcionamiento debido a la alimentación.

b) Sistema de recepción de datos

La recepción de datos se hace en un PC ASUS EeeTOP, el cual tiene un reducido precio, es compacto (todo está integrado en la pantalla) y además tiene pantalla táctil lo que facilita en gran medida su manejo. En un puerto USB de dicho dispositivo se conectará el adaptador ZigBee desarrollado para tal efecto el cual permitirá conectar el PC con el sistema de medida. Al estar conectado a un PC, el almacenamiento, procesamiento y envío de datos a un servidor central o por internet es algo directo y asequible para la mayoría de los usuarios.

c) Fotos del sistema



Figura 1: Sistema receptor inalámbrico



Figura 2: Sensor postural



Figura 3: Muestra del sistema completo

d) Diseño electrónico

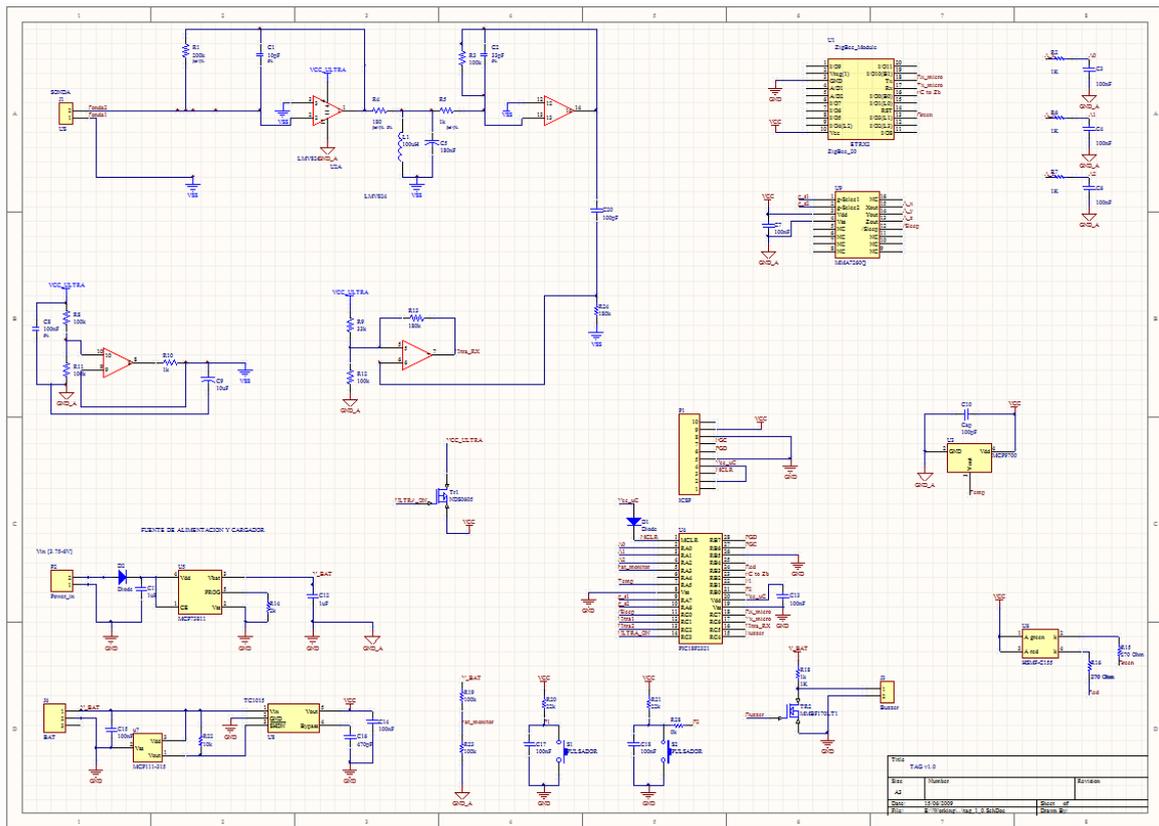


Figura 4: Esquemático sistema medida postural

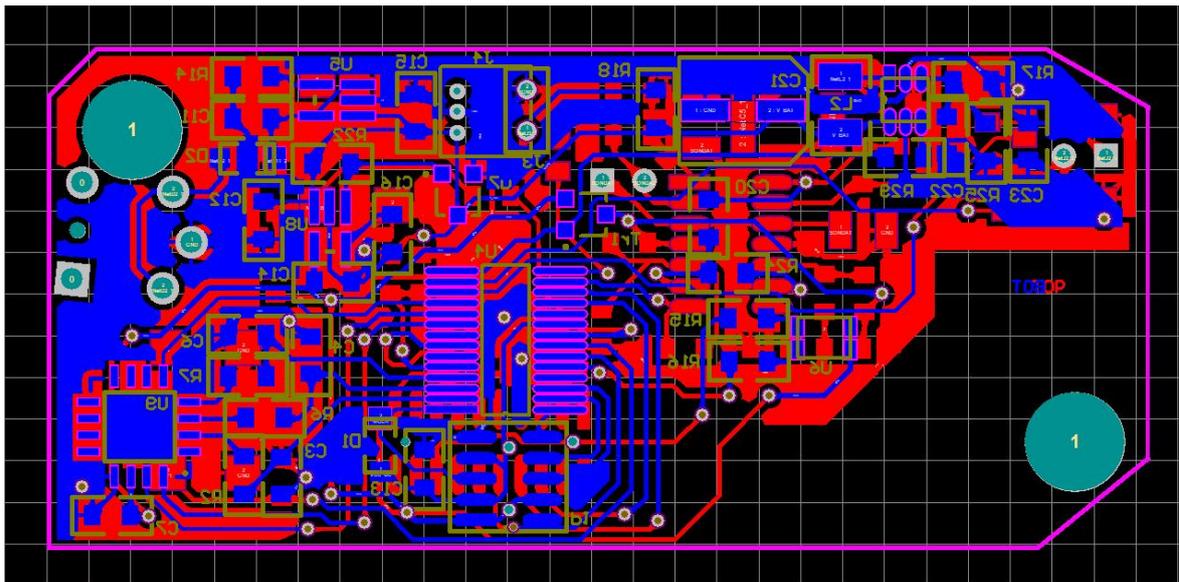


Figura 5: PCB sistema medida postural

5. Conclusiones y trabajo futuro.

5.1. Objetivos técnicos.

Los principales objetivos técnicos a obtener en el proyecto son: capacidades inalámbricas de los sensores de postura, precisión adecuada para este tipo de mediciones y autonomía de batería que permita ensayos prolongados.

Los sensores de medida de postura fueron dotados de capacidades inalámbricas con módulos de comunicaciones Zigbee. Dicho estándar destaca por su bajo consumo (lo que beneficia a la autonomía de batería de los sensores) e idoneidad para formar redes de comunicaciones de sensores.

La precisión de los sensores fue evaluada en comparación con dispositivos comerciales. Se asume que al desarrollar un dispositivo de bajo coste no van a obtenerse las precisiones de un equipo de comercial de altas prestaciones. Sin embargo las precisiones obtenidas en el dispositivo diseñado (+/- 3 grados) son suficientes para la aplicación a realizar.

La autonomía de las baterías de los dispositivos sensores ha sido analizada y evaluada con diferentes estrategias: eliminación de consumos innecesarios (hacer que el dispositivo “duerma” cuando no está midiendo) y elección de tecnologías de bajo consumo (comunicaciones Zigbee, microprocesadores PIC de bajo voltaje y estrategias de bajo consumo en el diseño electrónico). Con todo ello se consiguieron consumos moderados que permiten ensayos de postura prolongados.

5.2. Objetivos fisioterapéuticos.

El objetivo del presente proyecto ha sido desarrollar un sistema con unas prestaciones similares a las de los dispositivos electrónicos estándar actuales, pero a un coste lo suficientemente reducido para permitir el acceso al mismo a un colectivo mayor de profesionales. Esta tecnología no se ha usado hasta la fecha en centros escolares ya que su precio era muy elevado, aunque es previsible que con el prototipo final alcanzado pueda hacerse extensivo a un gran número de centros educativos para poder llevar un mejor control y seguimiento de su alumnado.

El segundo objetivo del proyecto, que por cuestión de tiempo no ha podido ser desarrollado, es su validación mediante pruebas de campo con los usuarios finales (alumnos). El dispositivo ha superado los exámenes de fiabilidad en el laboratorio pero es preciso desarrollar pruebas de campo que muestren resultados en su aplicación práctica real.

A lo largo del proceso de evaluación será igualmente analizada la usabilidad y prestaciones globales del sistema, para inferir posibles mejoras. Todo el conocimiento adquirido constituirá la base de validación y mejora del dispositivo final. Para alcanzar un resultado óptimo, se mantendrá una alta colaboración interdisciplinar a lo largo del desarrollo de todo el proyecto.

5.3. Evaluación con usuarios.

Debido a que el desarrollo del dispositivo y su testaje tanto técnico como fisioterápico en pruebas de laboratorio se ha extendido hasta final del curso, se reservan las pruebas de campo para el inicio del próximo curso escolar. Estos ensayos van a ser realizados comparando los nuevos dispositivos con los utilizados tradicionalmente, para así determinar su diferencia de fiabilidad intra e interexaminador.

Para la realización de los ensayos se optará por seleccionar una muestra lo más homogénea posible, y realizar la fiabilidad por un pool de 3 examinadores con diferentes años de experiencia, con el objetivo de obtener la fiabilidad real del nuevo dispositivo diseñado.

6. Conclusiones y trabajo futuro.

El trabajo desarrollado en este proyecto supone una piedra angular sobre la que continuar desarrollando este tipo de dispositivos, que resultan imprescindibles para que el alumno adquiera la mejor postura acorde con sus capacidades.

El trabajo futuro sobre este campo, a nivel fisioterápico y educativo, debe centrarse en realizar pruebas en usuarios con un tamaño muestral lo suficientemente grande como para que las conclusiones sean significativas y puedan extrapolarse al resto de la población escolar. Tecnológicamente, es posible modificar sus capacidades y añadir nuevas versatilidades.

Parte de los resultados obtenidos en este proyecto, han sido utilizados como una de las líneas de trabajo en un proyecto fin de master de Ingeniería Biomédica del departamento de Tecnología Electrónica y Comunicaciones.

Existe una intención manifiesta tanto por parte de AIDIMO como por parte de Tecnodiscap, de continuar con la línea de trabajo aquí iniciada, a tal efecto cabe mencionar la solicitud de un proyecto de colaboración DGA en la convocatoria del presente año.

7. Bibliografía.

1. Hainsworth F, Harrison MJ, Sheldon TA, Roussounis SH. Hainsworth F, Harrison MJ, Sheldon TA, Roussounis SH. A preliminary evaluation of ankle orthoses in the management of children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 1997 Apr;39(4):243-7.
2. Koman LA, Brashear A, Rosenfeld S, Chambers H, Russman B, Rang M, Root L, Ferrari E, Garcia de Yebenes Proust J, Smith BP, Turkel C, Walcott JM, Molloy PT. Botulinum toxin type A neuromuscular blockade in the treatment of equinus foot deformity in cerebral palsy: a multicenter, open-label clinical trial. *Pediatrics*. 2001 Nov;108(5):1062-71.
3. Sala DA, Grant AD, Kummer FJ. Equinus deformity in cerebral palsy: recurrence after tendo Achillis lengthening. *Dev Med Child Neurol*. 1997 Jan;39(1):45-8.
4. Rose SA, DeLuca PA, Davis RB 3rd, Ounpuu S, Gage JR. Kinematic and kinetic evaluation of the ankle after lengthening of the gastrocnemius fascia in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 1993 Nov-Dec;13(6):727-32.
5. Atar D, Zilberberg L, Votenberg M, Norsy M, Galil A. Effect of distal hamstrings release on cerebral palsy patients. *Bulletin Hospital Joint Dis* 1993;53:34-6.
6. Koman L, Mooney J, Paterson-Smith B, Walker F, Leon J. Botulinum toxin type A neuromuscular blockade in the treatment of lower extremity spasticity in cerebral palsy: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Pediatr Orthop* 2121;20:108-15.
7. Ekstrand J, Wiktorsson M, Oberg B, Gillquist J. Lower extremity goniometric measurements: a study to determine their reliability. *Arch Phys Med Rehabil* 1982;63:171-5.
8. Rothstein JM, Miller PJ, Roettger RF. Goniometric reliability in a clinical setting: elbow and knee measurements. *Phys Ther* 1983;63:1611-5.
9. Pandya S, Florence JM, King WM, Robison JD, Oxman M, Province MA. Reliability of goniometric measurements in patients with duchenne muscular dystrophy. *Phys Ther* 1985;65:1339-42.
10. Watkins MA, Riddle DL, Lamb RL, Personius WJ. Reliability of goniometric measurements and visual estimates of knee range of motion obtained in a clinical setting. *Phys Ther* 1991;71:90-7.
11. Youdas JW, Bogard CL, Suman VJ. Reliability of goniometric measurements and visual estimates of ankle joint range of motion obtained in a clinical setting. *Arch Phys Med Rehabil* 1993;74:1113-8.
12. Watkins B, Darrah J, Pain K. Reliability of passive ankle dorsiflexion measurements in children: comparison of universal and biplane goniometers. *Pediatr Phys Ther* 1995;7:3-8.
13. Low JL. The reliability of joint measurement. *Physiotherapy* 1976;62:227-9.

14. Boone DC, Azen SP, Lin CM, Spence C, Baron C, Lee L. Reliability of goniometric measurements. *Phys Ther* 1978;58:1355–60.
15. Stuberg WA, Fuchs RH, Miedaner JA. Reliability of goniometric measurements of children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*.1988;30:657– 666.
16. Ashton BB, Pickles B, Roll JW. Reliability of goniometric measurements of hip motion in spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 1978;20:87–94.
17. Harris SR, Smith LH, Krukowski L. Goniometric reliability for a child with spastic quadriplegia. *J Pediatr Orthop*. 1985;5:348 –351.
18. McDowell BC, Hewitt V, Nurse A, et al. The variability of goniometric measurements in ambulatory children with spastic cerebral palsy. *Gait Posture*. 2000;12:114 –121.
19. Allington NJ, Leroy N, Doneux C. Ankle joint range of motion measurements in spastic cerebral palsy children: intraobserver and interobserver reliability and reproducibility of goniometry and visual estimation. *J Pediatr Orthop*. 2002;11:236 –239.
20. Noraxon U.S.A. Inc. <http://www.noraxon.com/products/index.php3>
21. Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV).
<http://www.ibv.org/index.php/es/productos/aplicaciones-biomecanicas-hp3>
22. Biometrics Ltd <http://www.biometricsltd.com/>
23. Codamotion <http://www.codamotion.com/>
24. XSens <http://www.xsens.com/en/movement-science/>