



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA MATANZA

**Unidad Ejecutora:
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas**

**Título del proyecto de investigación:
Análisis de problemas y anomalías en la marcha en adultos mayores.**

**Programa de acreditación:
PROINCE – C188**

**Director del proyecto:
Mag. Orthusteguy, Fernando.**

**Co-Director del proyecto:
Lic. Maidana, Carlos Eduardo**

**Integrantes del equipo:
Dr. Jáuregui, José Ricardo
Dr. Giullianelli, Daniel Alberto
Ing. Fourcade, Alejandro Gabriel
Ing. Szklanny, Fernando Ignacio
Ing. Nieva, Nahuel Oscar**

**Fecha de inicio:
01.01.2016**

**Fecha de finalización:
31.12.2017**

Informe de Final 2017

Sumario

Contenido

1.- PLAN DE INVESTIGACIÓN	4
Resumen del Proyecto:	4
Palabras clave:	5
Tipo de investigación:.....	5
Área de conocimiento (código numérico y nombre):	5
Disciplina de conocimiento (código numérico y nombre):	5
Campo de aplicación (código numérico y nombre):	5
Estado actual del conocimiento:	5
Problemática a investigar:.....	5
Objetivos:	6
Marco teórico:.....	6
Hipótesis:.....	6
Metodología:	7
2.0 Programación de actividades (Gantt).....	8
Resultados que se esperan del proyecto.	11
Resultados en cuanto a la producción de conocimiento:	11
Resultados en cuanto a la formación de recursos humanos:	11
Resultados en cuanto a transferencia hacia las actividades de docencia y extensión:	11
3.- Memoria descriptiva	12
3.1.- Introducción	12
3.2.- Comentarios sobre el avance del proyecto.....	12
3.3.- Estudios iniciales	13
3.4.- Metodología utilizada	14
3.5.- Determinación del tipo de sensores a utilizar.....	16
3.6.- Topología de los teclados de membrana	21
3.7.- Descripción del sistema electrónico de control.	21
3.8.- Diseño eléctrico del prototipo.	22
3.9.- Proceso de fabricación	24
4.- INFORME DEL DESARROLLO DEL PROYECTO 2016-2017	27

4.1.- Actividades desarrolladas.	27
4.2.- Conclusiones y proyecciones.	27
4.3.- Evaluación de los integrantes del equipo de investigación	29
5.- ANEXO5.1.- Placa discovery	30
5.1.- Placa discovery	31
5.2.- Circuito Impreso de interconexión.....	35
Bibliografía.....	36

1.- PLAN DE INVESTIGACIÓN

Resumen del Proyecto:

El proyecto que se describe se refiere al desarrollo y construcción de un prototipo, que permite registrar y analizar información digital de las variaciones de la marcha humana en la población de adultos mayores de 65 años. El mismo puede obtener datos que cuantifican riesgos a futuro relacionados con caídas, fragilidad y trastornos de la marcha asociados a déficits cognitivos incipientes y otras causas.

El proyecto se debe considerar como una ampliación que permita concretar algunos de los objetivos planteados en el proyecto CYTMA C022, iniciado en el año 2015, para los que se requiere un aporte de tiempo y financiero que no resultan suficientes en el proyecto mencionado.

Si bien en la planificación inicial del proyecto de investigación se pretendía obtener un dispositivo electrónico (Plataforma – Sendero) que permita registrar digitalmente la secuencia de pasos realizada por una persona, de manera tal que se puedan calcular parámetros inherentes al análisis de la marcha humana, se pudo construir un dispositivo electrónico de dimensiones reducidas respecto del planificado.

Cabe indicar que el presente informe final incluye el seguimiento del presente proyecto de investigación, ya que oportunamente no se ha entregado el informe de avance por cuestiones administrativas.

Para el diseño y construcción de la plataforma se estudiaron las posibles soluciones tecnológicas existentes, de las que se seleccionó la más adecuada, considerando como tales a aquellas que permitieron, de una manera no invasiva, recabar la información necesaria para su posterior análisis. Se estudiaron los dispositivos electrónicos que mejor se adapten a la fabricación nacional, teniendo en cuenta su disponibilidad en el mercado y la mejor relación costo beneficio.

El dispositivo en cuestión (Plataforma – Sendero) se construyó en un laboratorio de la UNLaM (PRAMIN II) para su puesta en marcha y posterior prueba.

Es necesario para un diagnóstico, analizar las variaciones de velocidad de la marcha y las oscilaciones laterales de la marcha. Este dispositivo está dotado de sensores que permitirán digitalizar los movimientos y las pisadas del paciente. El dispositivo posee una plataforma final de dos metros y medio de extensión donde se montaron los elementos que para realizar la adquisición de datos y su posterior análisis en una computadora personal.

Palabras clave:

Adulto mayor, alteraciones, salud física, marcha.

Tipo de investigación:

3.3.1 Básica:

3.3.2 Aplicada: **X**

3.3.3 Desarrollo Experimental:

Área de conocimiento (código numérico y nombre):

1800 – Ingeniería electrónica y comunicaciones

Disciplina de conocimiento (código numérico y nombre):

1805 – Electrónica

Campo de aplicación (código numérico y nombre):

0599 – Biofísica, bioingeniería

Estado actual del conocimiento:

❖ La prolongación del promedio de vida de la población humana requiere considerar, cada vez más, los problemas relacionados con la tercera y cuarta edad. Los diversos síndromes que afectan a la población constitutiva de dichas etapas etarias requieren de herramientas de diagnóstico y evaluación, que permitan al profesional médico la toma de decisiones para al menos disminuir, si no evitar totalmente, los riesgos derivados de los trastornos comunes en dicha etapa de la vida.

❖ Existen múltiples desarrollos en el extranjero orientados a resolver situaciones similares a la presente. No existen desarrollos nacionales. Se cuenta con el conocimiento médico y tecnológico, necesarios para poder desarrollar un sistema de análisis que permita dar solución a los planteos del punto anterior.

Problemática a investigar:

❖ Construir un analizador que permitirá recabar información digital de las variaciones de la marcha humana en población de adultos mayores de 65 años. El mismo, permitirá obtener datos que cuantificarán riesgos a futuro de caídas, fragilidad y trastornos de la marcha asociados a déficits cognitivos incipientes. Para ello, se desarrollará un dispositivo que permita digitalizar las pisadas de una persona, teniendo en cuenta los aspectos relevantes para el posterior análisis de los datos digitalizados.

❖ No hay analizadores de la marcha digitalizados en la Argentina. El análisis de la marcha en cuanto a su velocidad, cadencia y variabilidad del paso permite inferir con anterioridad riesgos de

futuras caídas, fragilidad en la estructura ósea de adultos mayores y posibilidad de desarrollo de deterioro en las funciones cognitivas.

Objetivos:

- ❖ Desarrollar un analizador de la marcha humana para aplicar evaluaciones a población adulta mayor.
- ❖ Desarrollar herramientas de análisis que permitan obtener conclusiones y eventuales diagnósticos por parte de los profesionales médicos que lo utilicen.

Marco teórico:

La capacidad de locomoción del ser humano se distingue del resto de los seres vivos por su posibilidad de deambulación bípeda. Esto permite que las extremidades superiores queden liberadas y disponibles para otras actividades.

En la medida que el ser humano avanza en su edad comienzan a surgir trastornos en la marcha bípeda. Estas complicaciones pueden surgir en cualquier edad, pero se hacen notorias en la etapa de la vida conocida como “tercera edad”. Alrededor de los 60 años, un 15% de los adultos presentan alteraciones en la marcha [1], en tanto que dicho valor aumenta hasta el 50% en los mayores de 85 años.

Junto a otros (el de inmovilidad, el de deterioro cognitivo, el de incontinencia, por ejemplo), el síndrome de inestabilidad y caídas es uno de los efectos negativos que más afecta al individuo en su tercera y cuarta edad. Uno de los inconvenientes que surgen en relación a este síndrome es la falta de las herramientas o elementos que permitan diagnosticar y evaluar adecuadamente estas alteraciones.

La posibilidad de implementar un elemento de diagnóstico accesible y económico se basa en los importantes avances de la tecnología electrónica en general, y en su aplicación a diferentes ciencias y tecnologías, como en este caso lo es la medicina preventiva.

A pesar de lo expuesto, no se encuentran en el mercado sistemas de evaluación o de diagnóstico que permitan llegar a una determinación, por parte del profesional interviniente, que permita determinar las causas de dichas alteraciones y, eventualmente, tomar acciones que permitan corregirlas.

Hipótesis:

- ❖ El avance tecnológico permite mejorar la calidad de vida de los seres humanos permitiendo el desarrollo de elementos de diagnóstico no invasivos.

❖ No existe ninguna empresa nacional que desarrolle este tipo de dispositivo para el diagnóstico, por lo que resulta interesante el desarrollo de esta tecnología a costos accesibles para las empresas e industrias y principalmente para el reemplazo de importaciones.

Metodología:

El proyecto de investigación plantea el diseño y construcción de un dispositivo que permite digitalizar la marcha de un ser humano. Al tratarse de un proyecto de desarrollo electrónico experimental, se utilizan las metodologías habituales en este tipo de proyectos. Estas se pueden resumir en las siguientes etapas:

- Análisis del problema a resolver. Se pretende desarrollar y construir un sistema basado en una plataforma con sensores que permitan detectar la marcha de una persona en la medida que la misma camina por encima del sendero formado por la plataforma. Las señales eléctricas generadas por dichos sensores permitirán la reconstrucción de un modelo que, a su vez, permitirá colaborar con el diagnóstico de afecciones que actúen sobre las fallas detectadas.
- Diseño funcional.
- Selección de componentes. Para poder cumplir con este objetivo es necesario:
 - Seleccionar transductores que sean eficientes y que se encuentren disponibles en el mercado argentino.
 - Encontrar la mejor solución para la fabricación del sendero y la captura de los datos generados en los sensores.
 - Considerar la futura ampliación del sistema para su utilización con otros elementos de evaluación y análisis.
- Construcción y puesta en marcha de un prototipo funcional que permita analizar las variaciones de velocidad en la marcha, como así también los desplazamientos laterales al caminar.
- Ensayo del prototipo funcional, realización de mediciones y estudios que permitan obtener conclusiones y realizar un diagnóstico preventivo del síndrome motor cognitivo.

2.0 Programación de actividades (Gantt)

Fase 1 Análisis del sistema.

1. Selección del método de adquisición de datos de la marcha humana.
2. Evaluación de la capacidad de producción del mismo en la Argentina.

Fase 2 Etapa de diseño inicial.

3. Diseño de circuitos eléctricos.
4. Diseño de circuitos impresos.
5. Desarrollo del firmware del dispositivo de adquisición.
6. Desarrollo del software de análisis.

Fase 3 Prueba en campo del dispositivo y análisis de los resultados.

7. Montaje y prueba en laboratorio de un dispositivo de dimensiones representativas para el análisis.
8. Evaluación con personas del rango etario relevante del proyecto.
9. Replanteo y corrección de errores.

Fase 4 Documentación y transferencia.

10. Documentación.
11. Diseño y construcción del dispositivo final
12. Transferencia a la comunidad.

Actividades / Responsables 1er Año	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Fase 1.1 Mag. Orthusteguy, Fernando. Dr. Jáuregui, José Ricardo. Dr. Giullianelli, Daniel Alberto. Ing. Szklanny, Fernando Ignacio. Ing. Fourcade, Alejandro G. Ing. Nieva, Nahuel O. Lic. Maidana, Carlos E.	X	X										
Fase 1.2 Ing. Fourcade, Alejandro G. Ing. Nieva, Nahuel O. Lic. Maidana, Carlos E.			X									
Fase 2.3 Ing. Fourcade, Alejandro G. Ing. Nieva, Nahuel O.				X								
Fase 2.4 Ing. Fourcade, Alejandro G. Ing. Nieva, Nahuel O.					X	X						
Fase 2.5 Lic. Maidana, Carlos E. Ing. Nieva, Nahuel O. Ing. Szklanny, Fernando Ignacio							X	X	X	X		
Fase 2.6 Mag. Orthusteguy, Fernando. Dr. Jáuregui, José Ricardo. Dr. Giullianelli, Daniel Alberto. Ing. Szklanny, Fernando Ignacio Ing. Nieva, Nahuel O.									X	X	X	X

Actividades / Responsables 2do Año	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Fase 3.7 Ing. Fourcade, Alejandro G. Ing. Nieva, Nahuel O. Lic. Maidana, Carlos E.	x	x										
Fase 3.8 Dr. Jáuregui, José Ricardo. Ing. Szklanny, Fernando Ignacio			x	x								
Fase 3.9 Mag. Orthusteguy, Fernando. Dr. Jáuregui, José Ricardo. Dr. Giullianelli, Daniel Alberto. Ing. Szklanny, Fernando Ignacio. Ing. Fourcade, Alejandro G. Ing. Nieva, Nahuel O. Lic. Maidana, Carlos E.					x	x	x					
Fase 4.1 Dr. Giullianelli, Daniel Alberto. Ing. Fourcade, Alejandro G. Ing. Szklanny, Fernando Ignacio.								x				
Fase 4.2 Ing. Szklanny, Fernando Ignacio. Ing. Fourcade, Alejandro G. Ing. Nieva, Nahuel O. Lic. Maidana, Carlos E.									x	x	x	
Fase 4.3 Mag. Orthusteguy, Fernando. Dr. Jáuregui, José Ricardo. Dr. Giullianelli, Daniel Alberto.												x

Resultados que se esperan del proyecto.

Resultados en cuanto a la producción de conocimiento:

Se logró construir un dispositivo acotado respecto de la planificación original, que permite digitalizar la secuencia de la marcha humana. A partir de esos resultados será la comunidad médica la que pueda determinar la utilización y aplicación de los mismos en situaciones específicas.

Resultados en cuanto a la formación de recursos humanos:

Se capacitó un becario que cumplió la función de asistente, quien finalmente se desvinculó del proyecto pocos meses antes de la finalización por cuestiones de índole personal.

Resultados en cuanto a transferencia hacia las actividades de docencia y extensión:

Con posterioridad al proyecto se trabajará en aspectos relacionados a las actividades de docencia y extensión.

3.- Memoria descriptiva

3.1.- Introducción

El proyecto que se describe en este informe corresponde, como ya ha sido dicho, a una ampliación y continuidad del proyecto CYTMA ING-02 C022, llevado a cabo por el mismo grupo de docentes investigadores desde el año 2015. En función de este planteo, y habiendo mejorado la situación limitante que impidió la compra de material e insumos requeridos para llevar a cabo el proyecto mencionado, se propone la intención de completar y agrandar, con respecto a los objetivos originales de aquel proyecto, el sistema de análisis de la marcha y detección de problemas en adultos mayores.

A la fecha de inicio de este proyecto, la situación del desarrollo encarado en el mencionado proyecto previo es la que se describe a continuación.

- En el proyecto previo al que se desarrolla en el presente informe, se logró definir concretamente la topología del sistema de detección de pisadas y de la marcha, con el que implementaría el sistema de plataforma a desarrollar.
- Se completó el diseño del mencionado sistema de detección y se encaró la producción parcial de los insumos requeridos, con las limitaciones derivadas de las restricciones de importación vigentes hasta mediados del año 2016.
- Se desarrolló el software de control de los módulos de baldosas que formarían parte de la plataforma a desarrollar.

Al iniciarse el desarrollo del presente proyecto, el grupo de investigación tenía un objetivo claro en cuanto a los puntos del cronograma a desarrollar durante el año 2016, del que se llevaron a cabo los primeros cuatro puntos del cronograma previsto. El grado de avance del proyecto para el año 2016 quedó limitado por el aporte económico que realizaría la Universidad. Lamentablemente, la acreditación del subsidio, en su primera parte, se realizó recién en fecha 7 de noviembre de ese año, por lo que fue completamente imposible avanzar sobre aquellos ítems que requiriesen compras o inversiones.

El tiempo dedicado al proyecto durante el año 2016, en consecuencia, se utilizó fundamentalmente para resolver temas técnicos desde el punto de vista teórico, y con la única fuente material de experimentación posible, dada por los pocos elementos que a fines del año 2016 pudieron adquirirse con los escasos fondos del proyecto previo.

3.2.- Comentarios sobre el avance del proyecto.

A lo largo de 2016, el proyecto, como ya se ha dicho en el apartado anterior, estuvo frenado por las dificultades derivadas de la carencia de fondos para su implementación. Sucesivos inconvenientes de distinta índole hicieron que las evaluaciones de las presentaciones iniciales se demoraran, lo que a su vez demoró la acreditación del subsidio correspondiente. El hecho de haber recibido la primera parte del subsidio casi sobre el final del año 2016, hizo que todas las compras necesarias se vieran postergadas para comienzos del 2017.

Una vez recibidos los insumos requeridos para las baldosas y la plataforma, se procedió a la construcción de la misma, quedando pendientes para el 2017 los desarrollos, originalmente previstos para el año 2016, del firmware del dispositivo de adquisición (fase 2.5 del cronograma original) y del software de análisis (fase 2.6 del mismo).

3.3.- Estudios iniciales

Los estudios iniciales del proyecto dieron como resultado dos opciones para poder desarrollar el sistema propuesto. La primera alternativa proponía la utilización de dos cámaras de video, una de las cuales filmaría al paciente de frente, en tanto que la segunda realizaría una toma lateral. En ambas tomas se necesitaba de una grátícula calibrada que permitiera medir distancias, una pasarela totalmente pasiva y los resultados se analizarían posteriormente con un software de análisis de imágenes. Mediante el conocimiento de la estructura de la mencionada grátícula y la cantidad de cuadros por segundo de la filmación, se puede calcular la velocidad de desplazamiento.

Este método resultó descartado porque se necesita un lugar muy amplio para poder ubicar las cámaras y la pasarela, además de requerir una calibración previa al uso. De acuerdo con lo planteado en los objetivos del proyecto, uno de ellos, importante para el éxito del mismo, tiene que ver con la posibilidad de transporte y traslado del sistema desarrollado.

La segunda opción, que luego resultó ser la adoptada, consiste en utilizar la técnica de sensores de presión agrupados en una matriz total de, en principio, cuatro metros por cincuenta centímetros de ancho, conformada por módulos de 50 cm de lado, que permita el fácil transporte, y que además funcione como un sistema modular que permita la fácil modificación del largo y ancho de la pasarela, permitiendo su aplicación a diferentes necesidades. .

La adquisición de datos y su retransmisión a una computadora para realizar el análisis de la marcha se realiza mediante un microcontrolador, cuyas características quedarán determinadas en función de las necesidades del proyecto.

La figura 1 propone el diagrama de bloques del sistema a desarrollar, en el que se observa claramente la existencia de un conjunto de microcontroladores, trabajando en forma distribuida, junto con otro, que funciona como concentrador y que permite transmitir y recibir datos desde/hacia una computadora personal.

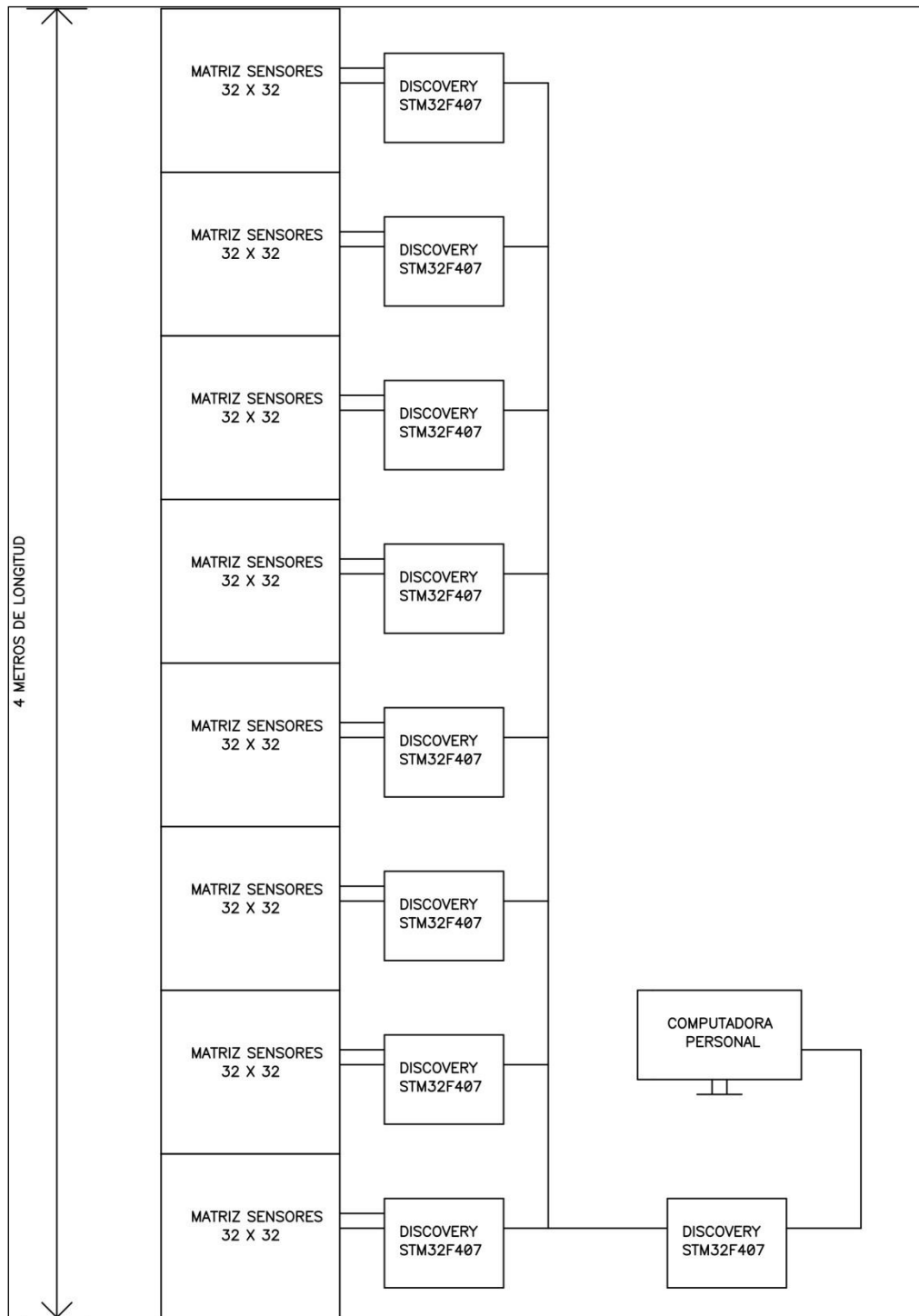


Figura 1 Diagrama general en bloques

3.4.- Metodología utilizada

Se plantea un sistema de estudio de trastornos en la marcha de pacientes adultos mayores, cuyo funcionamiento no resulte invasivo, para lo cual se propone el desarrollo de una pasarela, de unos seis metros de longitud, dividido en dos segmentos: un primer segmento de dos metros de longitud que permiten iniciar la caminata, sin control alguno sobre la marcha, y un segundo, de cuatro metros, en los que se realiza la verificación y medición de la marcha y sus alteraciones.

El análisis de la marcha en cuanto a su velocidad, cadencia y variabilidad del paso permite inferir con anterioridad a su ocurrencia posibles riesgos de futuras caídas, aumentos de la fragilidad y posibilidad de desarrollo de deterioro en las funciones cognitivas de los adultos mayores.

La construcción del prototipo funcional permitirá analizar las variaciones de velocidad en la marcha, como así también los desplazamientos laterales al caminar, que permitirían realizar un diagnóstico preventivo del síndrome motor cognitivo.

Con la información digital adquirida, el sistema de control realiza dos tipos de mediciones, de las cuales la primera se refiere al desplazamiento lateral de la marcha, según se observa en la figura 2.

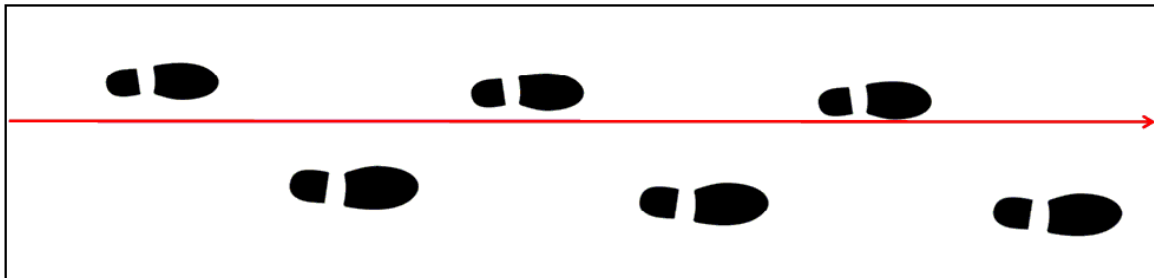


Figura 2 Medición del desplazamiento lateral.

La segunda medición, en tanto, hace referencia a la diferencia temporal entre pisadas sucesivas, lo que se ilustra en la figura 3.

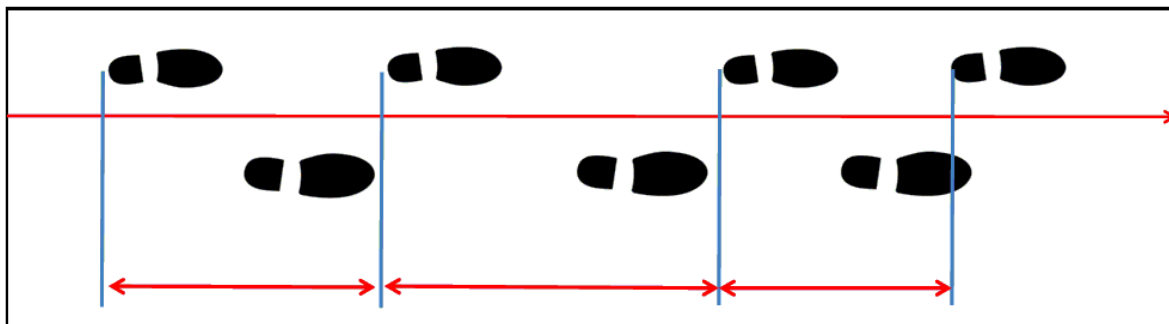


Figura 3 Medición de la diferencia temporal

3.5.- Determinación del tipo de sensores a utilizar.

Existen diferentes tipos de sensores o diferentes métodos para poder realizar la adquisición de los datos de una pisada de un pie humano.

Una opción que se consideró viable en el análisis de la selección del tipo de sensores, fue la de utilizar sensores analógicos de presión. Estos requieren de un sistema de alimentación altamente regulado, y, por otra parte, se requerirían, por módulo, aproximadamente 1024 puntos de medición (matriz de 32 filas por 32 columnas), lo cual lleva como resultado a un sistema inviable desde el punto de vista económico.

Consultado el especialista médico del equipo, resultó que no es necesario analizar los puntos de presión, sino la diferencia de tiempo entre pisadas, por lo que este tipo de sensores fue descartado.

La segunda opción fue la de utilizar la misma técnica con los que se construyen los teclados de membrana, es decir un elemento que realiza un contacto "SI – NO" si se le aplica una presión sobre él. Para poder analizar la viabilidad de este sistema, se decidió construir un modelo a escala con teclados comerciales de diez puntos de contacto. Se observa en la figura 4 un ejemplo del tipo de teclado sugerido en este análisis.



Figura 4 Un teclado de membrana

Se construyó, como elemento de experimentación, un prototipo con 10 teclados configurando el sendero a recorrer, un microcontrolador y una placa de interconexión con un canal de comunicación serie que enviara a una computadora personal el estado "Si - No" de cada contacto. En la figura 4 se observa el prototipo implementado, en tanto que en las figuras 5A y 5B se muestra la forma de fijación de los conectores al sistema de baldosas planteado.

No obstante, se hace necesario indicar en este punto que los resultados no fueron los esperados, ya que había puntos de presión que no llegaban a conectarse. Se observó como motivo de esta falencia el hecho de que el tipo de teclado/sensor utilizado tenía un diámetro de unos 10 milímetros, mientras que la suela del calzado utilizado no llega a ser tan flexible como para poder realizar el contacto necesario para la detección.

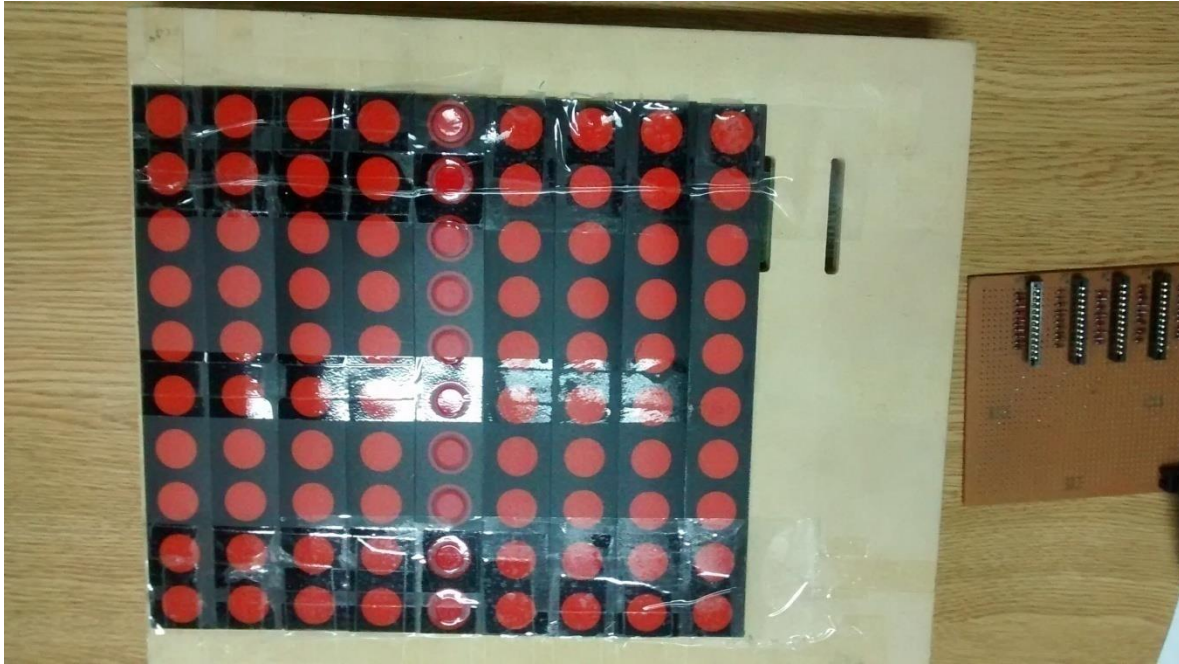


Figura 5.- Prototipo de “baldosa” por medio de teclados, con su controlador.

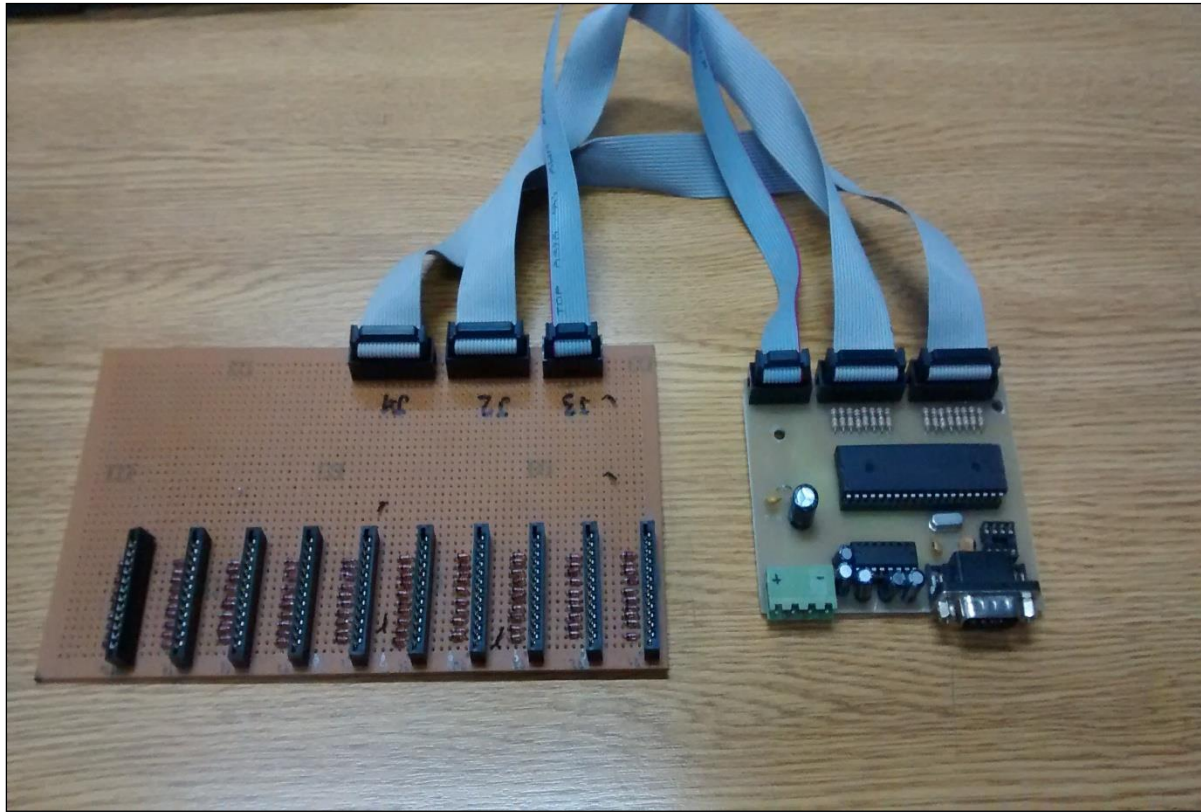


Figura 6.- Prototipo de “baldosa” por medio de teclados, con su controlador

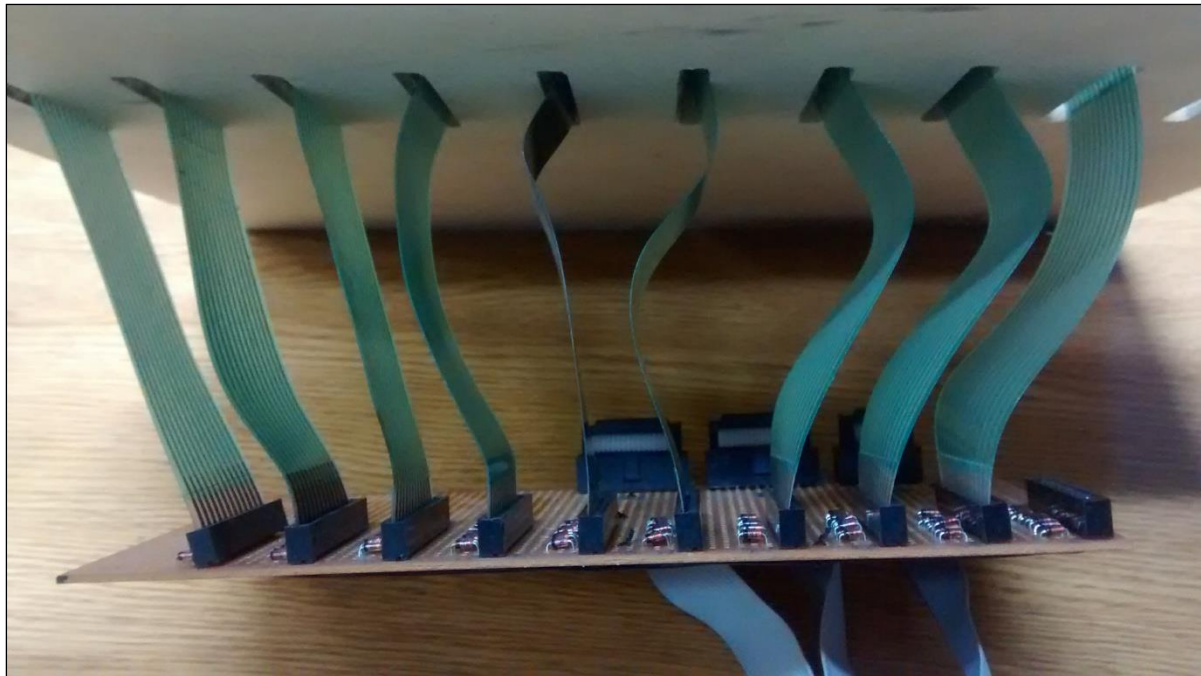


Figura 7.- Interconexión de los sensores al microcontrolador

En esta instancia se consideró el reemplazo del teclado de membrana originalmente propuesto, para pasar a un sistema rígido de un circuito impreso y un sistema de detección táctil (basado en microcontroladores AVR de Atmel). Este planteo tuvo en cuenta que la firma Atmel ofrece una biblioteca, denominada Qtouch (Royalty Free), orientada al desarrollo de dispositivos de entradas táctiles, que utiliza las entradas analógicas de microcontroladores convencionales. Pero nuevamente la cantidad de puntos de medición a realizar por módulo hizo que este sistema fuese descartado al poco tiempo.

Cabe aclarar que el presupuesto otorgado hizo que en promedio el costo por punto de medición no podía exceder los 2,50 pesos, y si bien se puede entender que soluciones pueden existir varias, se hacía complejo lograr una solución optimizada para lograr un resultado aceptable a un costo extremadamente bajo.

En este punto, y ante la incertidumbre sobre si se podrían lograr los resultados planteados como objetivos básicos de este proyecto, se realizaron consultas con fabricantes nacionales de teclados de membrana, a quienes se les planteó el problema a resolver para poder analizar las diferentes opciones de solución que podrían llegar a proponer.

La solución propuesta fue la inclusión de un domo metálico flexible en cada punto de medición, el que provocaría una pequeña protuberancia, de aproximadamente un milímetro, que permitiera realizar el contacto eléctrico independientemente del tipo de calzado que se use. Para verificar este sistema se agregaron al pequeño prototipo a escala unos teclados con domo, verificando su correcto funcionamiento.

Las figuras 8 a 11 muestran, desde diferentes perspectivas, la metodología de construcción del teclado tras la inclusión de los domos metálicos.



Figura 8.- Grupo de sensores sin la cubierta superior de policarbonato

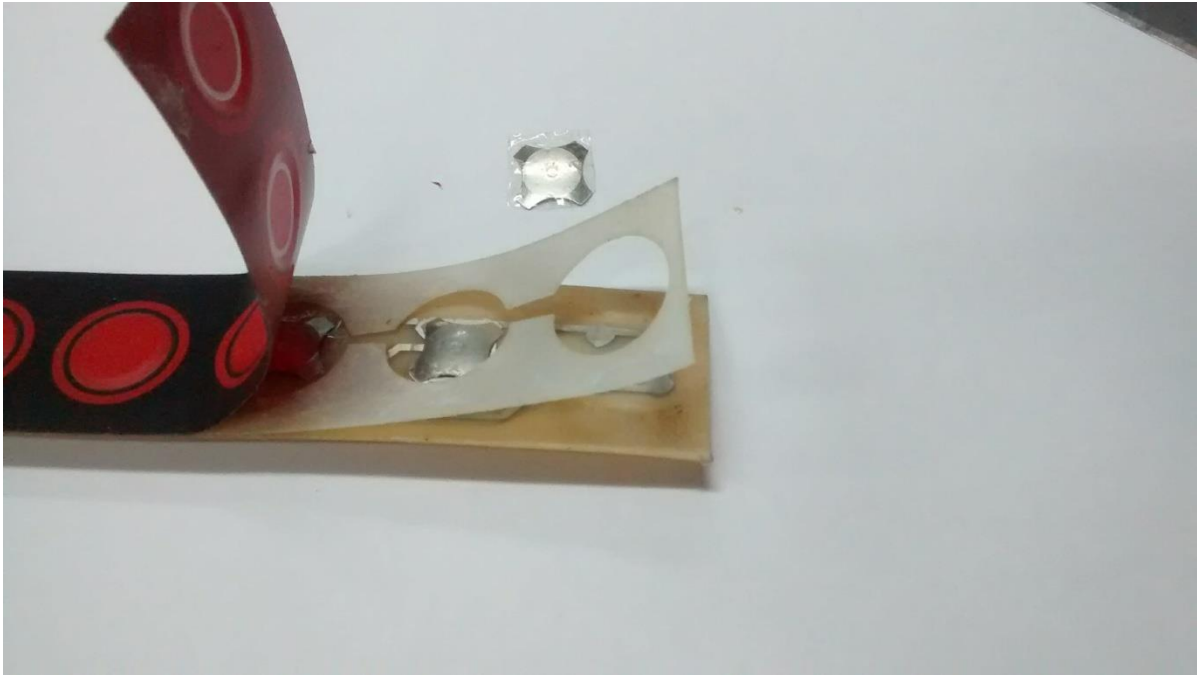


Figura 9.- Detalle del “domo metálico” y separador de policarbonato.



Figura 10.- Vista general del grupo de sensores utilizado en las pruebas.

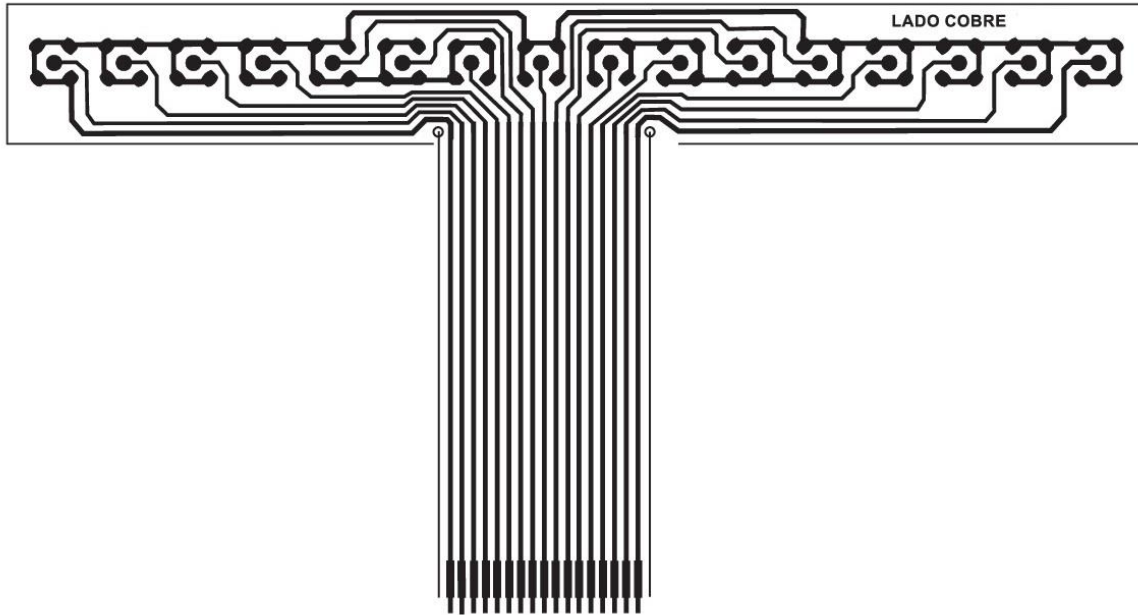


Figura 11.- Diseño del circuito impreso correspondiente al grupo de sensores definitivo

3.6.- Topología de los teclados de membrana

Resuelto el tipo de sensor a utilizar, el siguiente problema a resolver consistía en la forma más adecuada de interconexión que permitiera minimizar el sistema de adquisición. Para ello se plantearon básicamente dos alternativas de configuración:

- Una matriz de filas y columnas unidas internamente en el teclado flexible.
- Una matriz de filas y columnas unidas externamente en un circuito impreso.

De acuerdo con los análisis iniciales, la primera opción planteada pareció ser la más apropiada. Sin embargo, aparecieron inconvenientes en el uso de la misma cuando se requirió analizar más de un punto de contacto “Si – No” al mismo tiempo en una misma fila. Para solucionar el problema surgido se hizo necesaria la inclusión de un diodo dentro del teclado flexible, lo que implicaba que se debían soldar en un elemento flexible estos elementos. Consultado el fabricante esta idea fue desechada.

Finalmente, la opción elegida fue la que se implementa con teclados individuales. La inclusión de los diodos se realizaría en el circuito impreso que además sirve de interconexión de la matriz.

De esta forma el microcontrolador que se incluye en cada módulo solo necesita 64 puntos de entrada salida, para poder analizar los 1.024 puntos de contacto de cada módulo, los que se plantean como una matriz de 32 filas por 32 columnas.

3.7.- Descripción del sistema electrónico de control.

Cómo se dejó ver en los puntos anteriores, el objetivo del sistema es adquirir y memorizar la marcha de una persona. Para ello se dispuso de una matriz de sensores “on –off” agrupados en un elemento que se decidió llamar “Baldosa”. La dimensión de cada baldosa es de 50 cm de lado, y los sensores están equidistantes a 1,5 cm aproximadamente entre sí. El sistema total estará formado por ocho baldosas más otras dos que no tienen sensores y que se ubican en el inicio del sendero. Estas baldosas falsas tienen como sentido permitir

que la persona a evaluar inicie la marcha en forma anticipada para ingresar a la zona de adquisición ya con la marcha en régimen. Cada baldosa tiene 1024 puntos de medición, resolución que permite digitalizar con precisión la pisada de la persona bajo estudio.

Estos 1024 puntos de medición están agrupados en dos matrices de 16 por 32, que se conectan a través de dos buses de 16 bits y 32 señales de selección, tal como se observa en la figura 10. Esa matriz se interconecta con una placa Discovery que incluye un microcontrolador ARM STM32F407, en el que se realiza en forma periódica, en un período programable que va desde los 20 ms hasta un máximo de 200 ms, una toma de muestras de los sensores, lo que permite recrear una imagen de la pisada. Esa imagen digital se envía a una placa Discovery similar que actúa de concentrador y que permite la comunicación con la PC en la que se realizará el análisis.

Las figuras 12 a 15 muestran el hardware que se utilizará en la realización del prototipo funcional como se observa en la figura 1 del diagrama en bloques. Estos diagramas corresponden a la familia Discovery de placas de la firma ST. Particularmente se eligieron para este caso, por el bajo costo, dado que el solo hecho de fabricar el circuito impreso sin componentes, equivalía al costo de la placa terminada.

Como este tipo de placas poseen microcontroladores de la familia ARM M4, en este caso particular el STM32F407, abre un abanico de posibilidades en cuanto a las prestaciones del dispositivo, que cubre y supera las necesidades para el proyecto.

3.8.- Diseño eléctrico del prototipo.

Para los fines de poder seleccionar el tipo de sensor a utilizar, la primera matriz estaba conformada con teclados de membrana con y sin domo metálico agrupados en 10 filas por 10 columnas.

Para realizar las pruebas de pisada y adquirir los datos se utilizó una placa (ver figura 4) basada en un microcontrolador PIC16F877A, que realizaba la adquisición y posterior envío de la información adquirida por el puerto serie a una PC. Los circuitos de esa placa en particular no se incorporan al informe porque la misma se utilizó solamente con el objetivo de determinar el tipo de sensor a utilizar y no forma parte del prototipo final a construir.

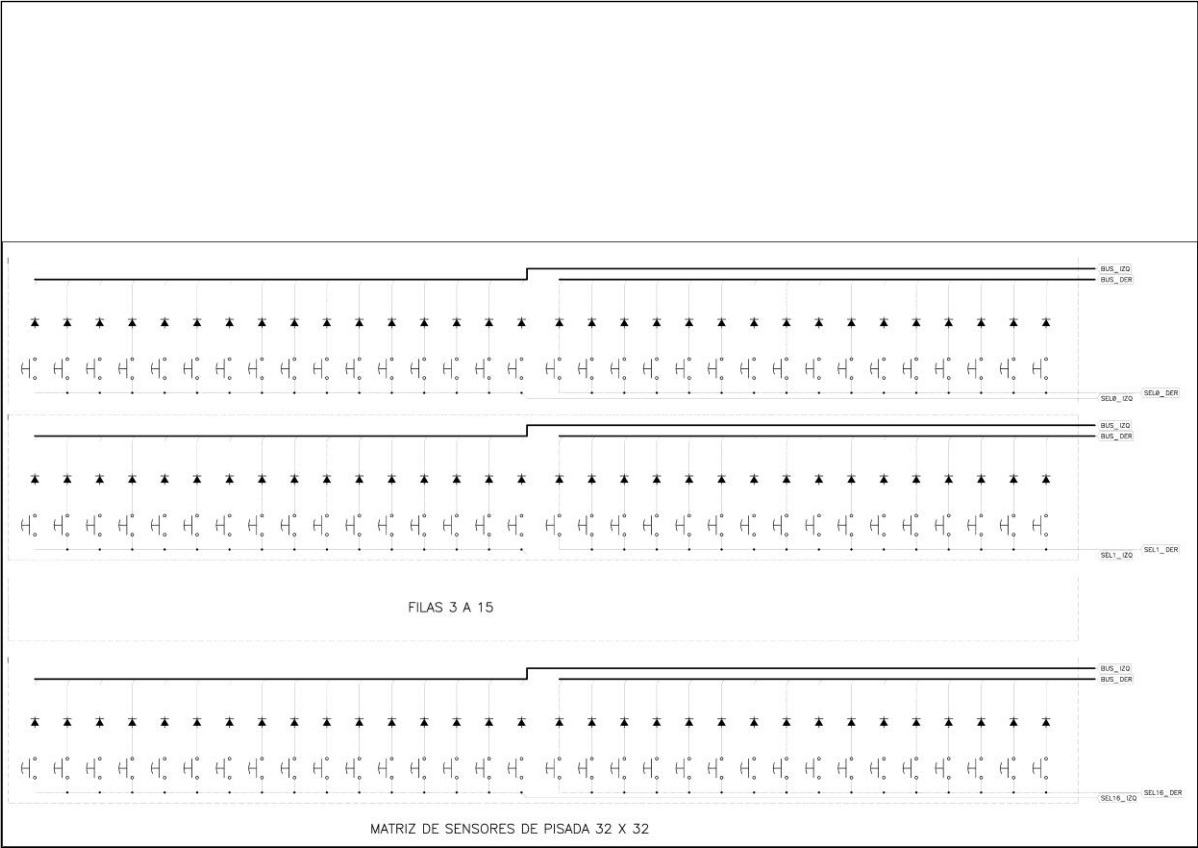


Figura 12.- Diseño de la matriz de sensores de pisada.

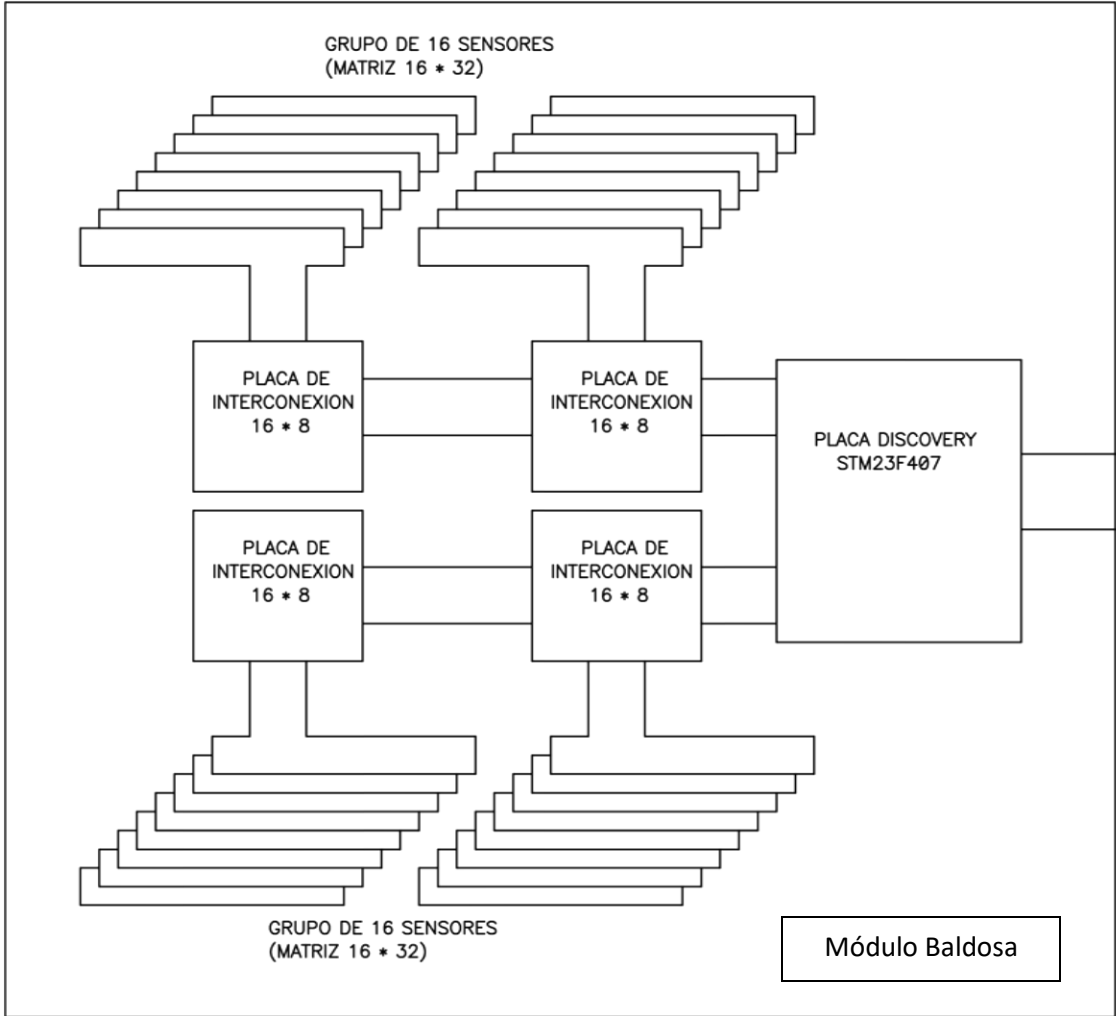
3.9.- Proceso de fabricación

Cerca del final del primer año del proyecto (noviembre de 2016) se pudo contar con los fondos necesarios para la compra de materiales y continuar con el desarrollo. Paralelamente los pocos materiales que se pudieron adquirir con los fondos del proyecto anterior estuvieron disponibles para una fecha similar, gracias a ello se pudo experimentar el tipo de sensor definitivo. Ahora solo faltaba adquirir los materiales para poder lograr la fabricación de suficientes baldosas para la construcción de un sendero de 4 metros con sensores. Cabe recordar que el largo total del sendero que estaba proyectado, sería de seis metros, 4 de sendero con capacidad de adquirir datos y los primeros dos metros para ambientar al paciente a entrar en régimen de marcha.

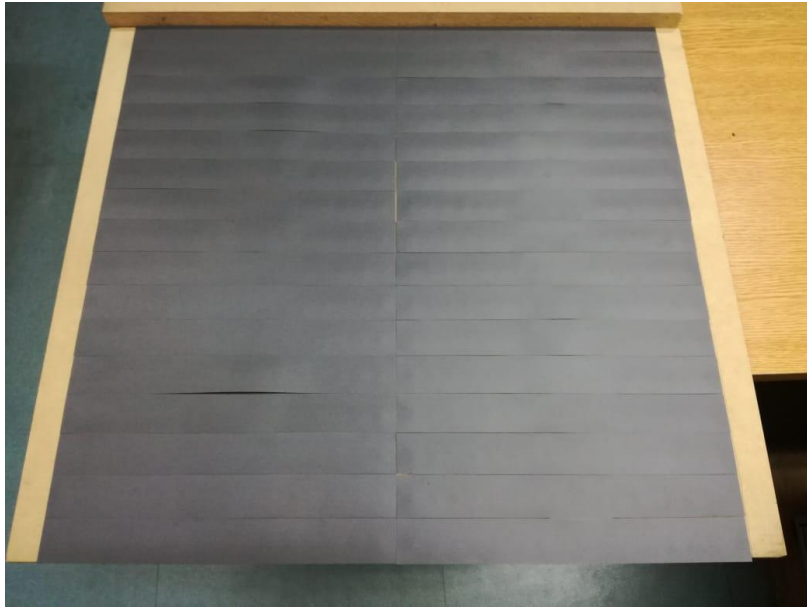
Recién a principios del segundo año de ejecución se pudo contar con las placas con microcontroladores que se habían seleccionado para realizar la adquisición de datos de manera local en cada baldosa. Esto permitió comenzar con la experiencia de programación de la familia STM32F4 (Core M4) de la cual no se tenía experiencia, pero que fue seleccionada por sus virtudes de hardware, su bajo costo unitario, la existencia en el país de sistemas de desarrollo económicos, la utilización de herramientas de programación libres y en particular para la aplicación específica una gran cantidad de pines de entrada – salida que permitirían la lectura de la matriz de sensores de las baldosas.

En total contando los pocos insumos que se pudieron adquirir del proyecto anterior, se adquirieron 184 conjuntos de sensores de 16 contactos cada uno, eso permitirá construir 2,5 metros de sendero, sumado a los dos metros de inicio, permite generar un largo total de 4,5 metros, longitud que si bien no es la que se hubiera deseado realizar, permite realizar las prácticas necesarias en campo para determinar la viabilidad de fabricación en el país. Cabe aclarar que cada elemento denominado baldosa requiere 32 conjuntos de sensores, generando una matriz lógica de 1024 puntos de sensado y una matriz física de $2 * 16 * 32$. En total el sendero resultante tendrá una matriz de sensores de $32 * 160 = 5120$ puntos de medición.

Para poder realizar la interconexión de los diferentes sensores se tuvo que diseñar un circuito impreso, tratando de optimizar su tamaño para que los cables flexibles de cada grupo de sensores se pudiera conectar adecuadamente. De esta manera se optó por utilizar cuatro circuitos impresos en los que se montaron los conectores de borde, los diodos que evitan conexiones indeseadas y los resistores de pullup para poder realizar la lectura. Estos cuatro bloques se interconectan mediante cables flexibles planos de 24 conductores y de allí se interconectan a la placa controladora de cada módulo como se muestra en el siguiente diagrama en bloques.



Modelo final del prototipo (Módulo Baldosa)



4.- INFORME DEL DESARROLLO DEL PROYECTO 2016-2017

4.1.- Actividades desarrolladas.

Durante el año 2016 se avanzó con el rediseño del circuito eléctrico de las baldosas, a las que se le incorporaron algunas modificaciones luego de los primeros ensayos de las mismas.

Durante el año 2017 se desarrollo el circuito impreso de interconexión (ver anexo) de la matriz de sensores, realizándose su fabricación con aportes propios. Esto permitió realizar las pruebas físicas del primer módulo “baldosa”, con el que se desarrollo el firmware de control y adquisición.

Se revisaron algunos conceptos derivados del proyecto inicialmente planteado, como por ejemplo la forma de intercomunicación entre baldosas y el concentrador principal, donde se planteó la alternativa de una comunicación inalámbrica en reemplazo de la idea original basada en una interconexión cableada. La falta de componentes impidió el ensayo de esta alternativa de diseño.

4.2.- Conclusiones y proyecciones.

El primer año de ejecución del proyecto permitió, dada la falta de medios económicos, utilizar la creatividad de los integrantes del grupo de investigación para plantear distintas alternativas de solución de bajo costo para el proyecto.

Cabe aclarar que el objetivo primordial en todo momento fue el poder concebir un elemento de medición que se pudiera fabricar en el país a un costo operativo bajo.

Si bien las actividades planteadas en el diagrama de Gantt se vieron alteradas, fundamentalmente por la falta de elementos de materia prima para la fabricación de los sensores, se pudo avanzar en la selección de los elementos y en la topología de matricería necesaria, así como también en algunos aspectos del tratamiento de datos en el futuro.

El hecho de depender de terceros para la fabricación de los sensores elevó el costo del proyecto, con respecto a los costos que podrían resultar en el caso de disponer, como puede ocurrir con muchas pequeñas y medianas empresas, de un pequeño taller de impresiones serigráficas. Esta disponibilidad haría que el costo de los trabajos de impresión disminuya, lo que a su vez permitiría reducir el costo de fabricación del equipo propuesto, por lo que el mismo puede resultar sumamente viable.

Además, la posibilidad de incorporar circuitos impresos flexibles, en los que se puedan soldar diodos de tecnología de montaje superficial (SMD), permitiría reducir el peso de cada baldosa y principalmente permitiría simplificar el conexionado con el microcontrolador o permitir el soldado de microcontroladores de igual tecnología en el mismo panel, lo que reduciría la mano de obra de montaje al mínimo.

Lamentablemente, ante la imposibilidad de contar en la universidad con un laboratorio de circuitos impresos y un laboratorio de serigrafía, este punto no pudo ser evaluado.

Otro punto que no pudo ser resuelto es el software de análisis de los datos adquiridos, justamente por no contar con la totalidad de módulos de adquisición.

Un factor que influyó de una manera positiva de todos los miembros del equipo afectado a las tareas vinculadas con la electrónica, es la capacitación de la familia de microcontroladores ARM STM32F4.

Se pudo avanzar en los protocolos de transmisión y compresión de datos desde los módulos del sendero al concentrador general, para luego retransmitidos a la PC.

Como conclusión general se puede observar que el proyecto predecesor CYTMA C022, sirvió para seleccionar el tipo de sensor a adquirir, y sentar las bases del proyecto. Este proyecto sirvió para construir un modelo funcional, pero la cantidad disponible de tiempo no fue suficiente para poder ver el verdadero progreso. Un factor que influyó de manera fundamental, fue la devaluación producida durante la ejecución del proyecto, ya que al principio del mismo se contaba con un monto que cubría las expectativas de la construcción de los 4 metros útiles de sensores y al finalizar el proyecto, sumando los materiales adquiridos con los dos proyectos, solo se pudo terminar de construir 2,5 metros.

4.3.- Evaluación de los integrantes del equipo de investigación

A lo largo de la duración del proyecto, y en función del cronograma planteado, la mayor parte de la carga de trabajo en el proyecto recayó en los Ings. Fourcade, Nieva y el Lic. Maidana.

El Lic. Carlos E. Maidana, codirector del proyecto, llevó adelante la coordinación del mismo, así como la supervisión de las tareas desarrolladas y gran parte de las definiciones de hardware y software.

El Ing. Alejandro Fourcade aportó a la ejecución del proyecto una ayuda invaluable, demostrando en todo momento practicidad y dominio de las nuevas tecnologías. Su desempeño fue altamente satisfactorio.

El Ing. Nahuel Nieva colaboró con los profesionales mencionados en diversas tareas dentro del desarrollo, cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos que se le plantearon.

Durante la ejecución del segundo año del proyecto el Sr. Andrés Buzzoni, alumno de la carrera de electrónica, obtuvo una beca para incorporarse al proyecto. En la primera parte del año 2017, debido a que no tenía suficiente capacitación en el área de microcontroladores, se lo capacitó con el fin de poder dividir las tareas de los demás miembros, lamentablemente renunció a la beca por motivos personales.

El Ing. Fernando Szklanny y el Dr. Daniel Giullianelli aportaron su vasta experiencia en lo tecnológico y en la gestión de proyectos, sumando un eslabón indispensable en la cadena.

El Dr. José R. Jauregui aportó su conocimiento desde lo médico, para ayudar a entender qué factores se requería medir y los métodos más apropiados para dicha medición. La importancia de su aporte se verá reflejada en el momento en que se pueda concretar la fabricación del prototipo funcional, en el que se podrán realizar las pruebas de campo con pacientes reales y estudiar los factores que impulsaron la creación de este proyecto.

5.- ANEXO

5.1.- Placa discovery

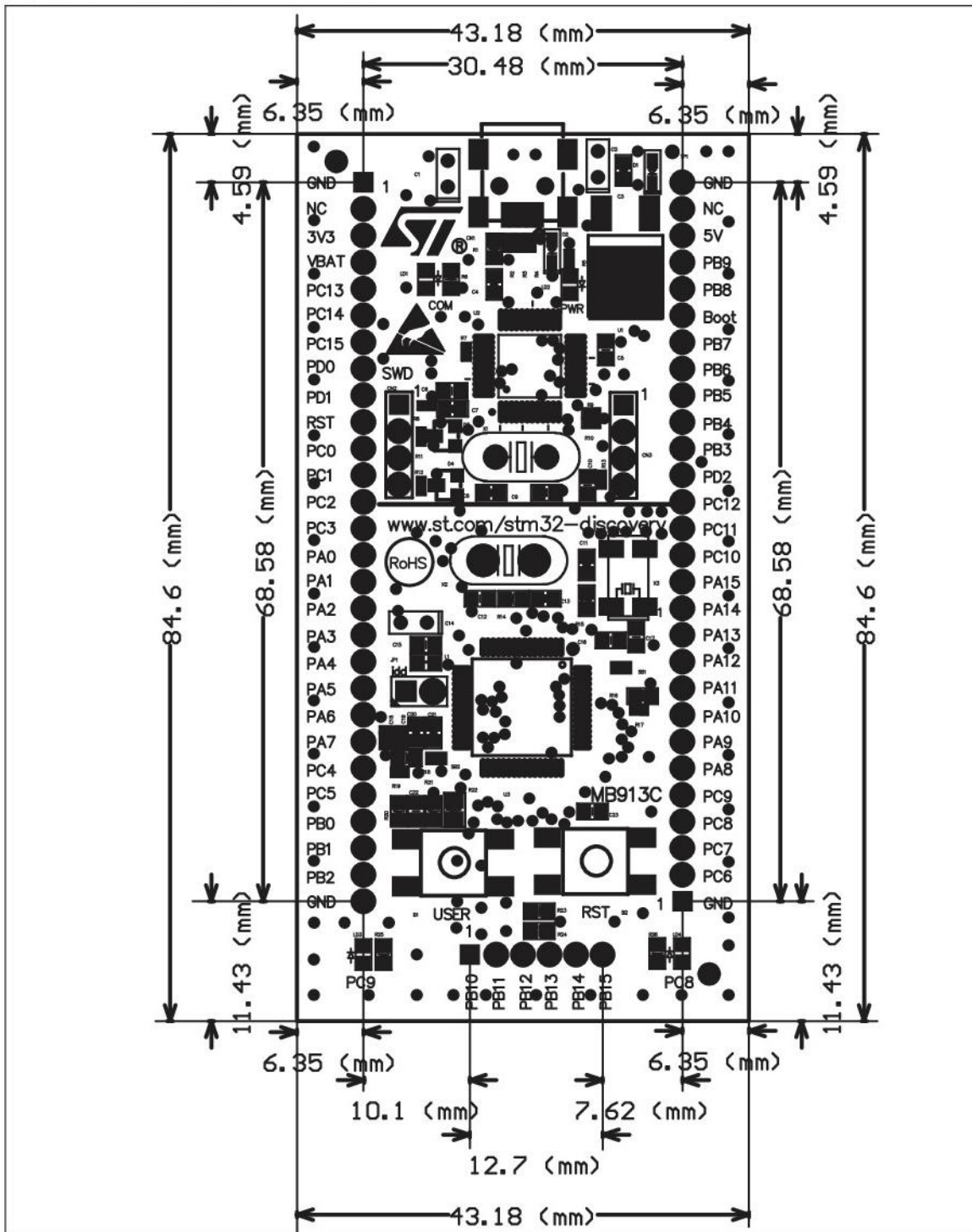


Figura 13.- Distribución física y dimensiones mecánicas de la placa Discovery

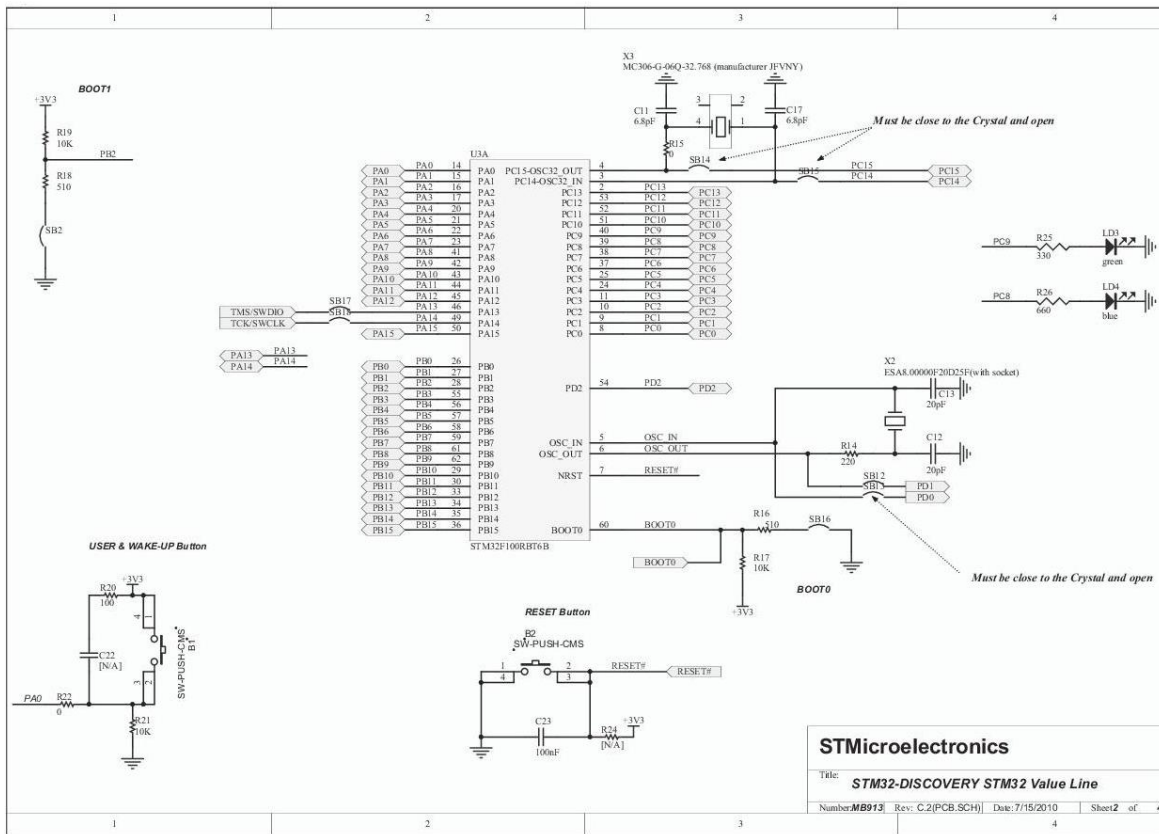


Figura 14.- Circuito eléctrico Discovery Parte 1

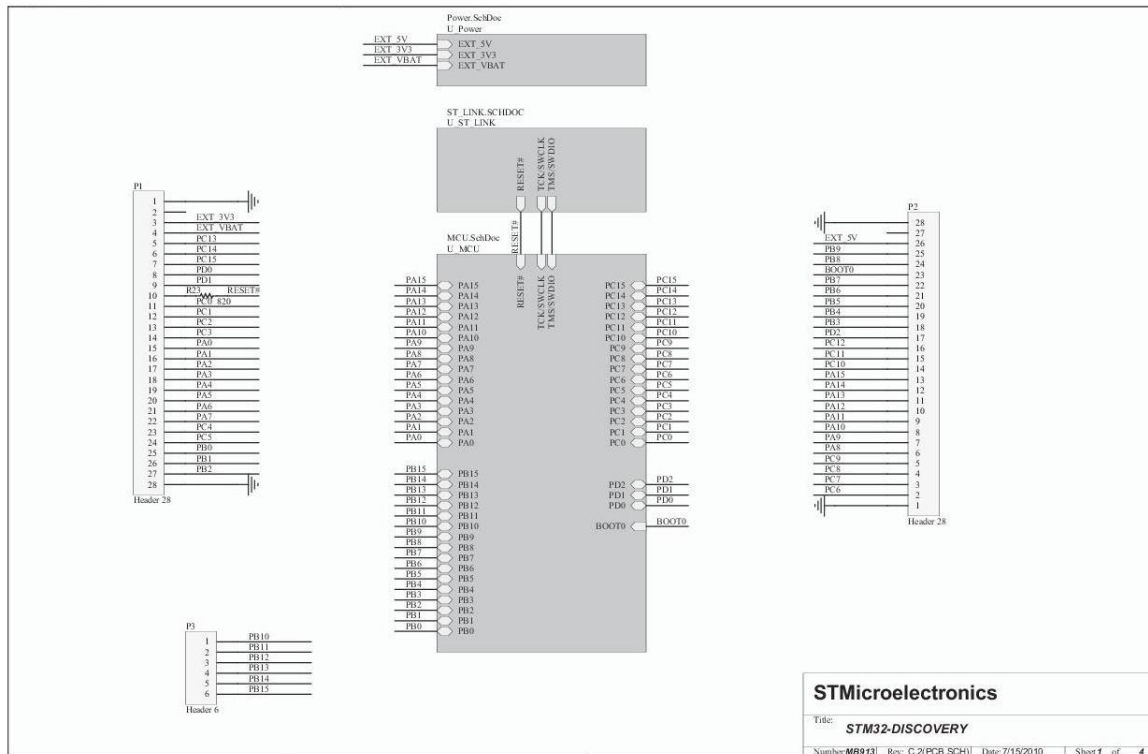


Figura 15.- Circuito eléctrico Discovery Parte 2

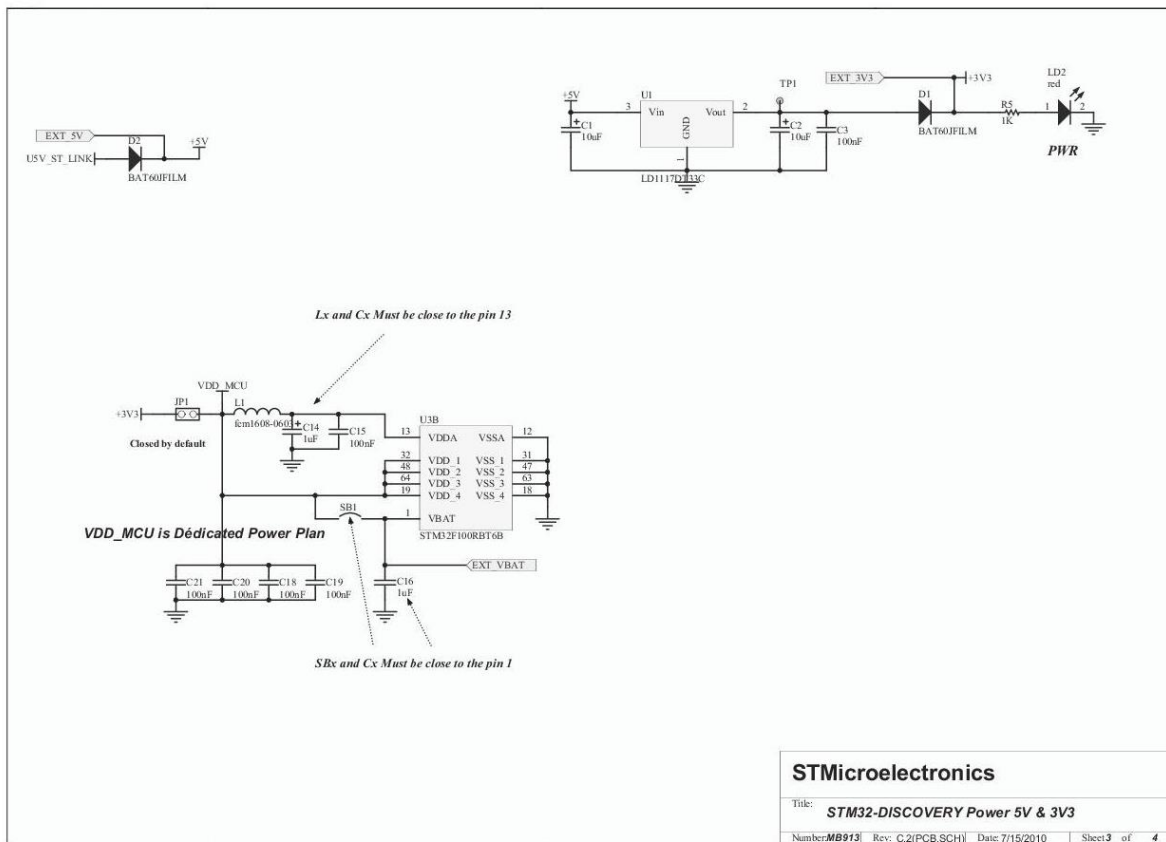


Figura 16.- Circuito eléctrico Discovery Parte 3

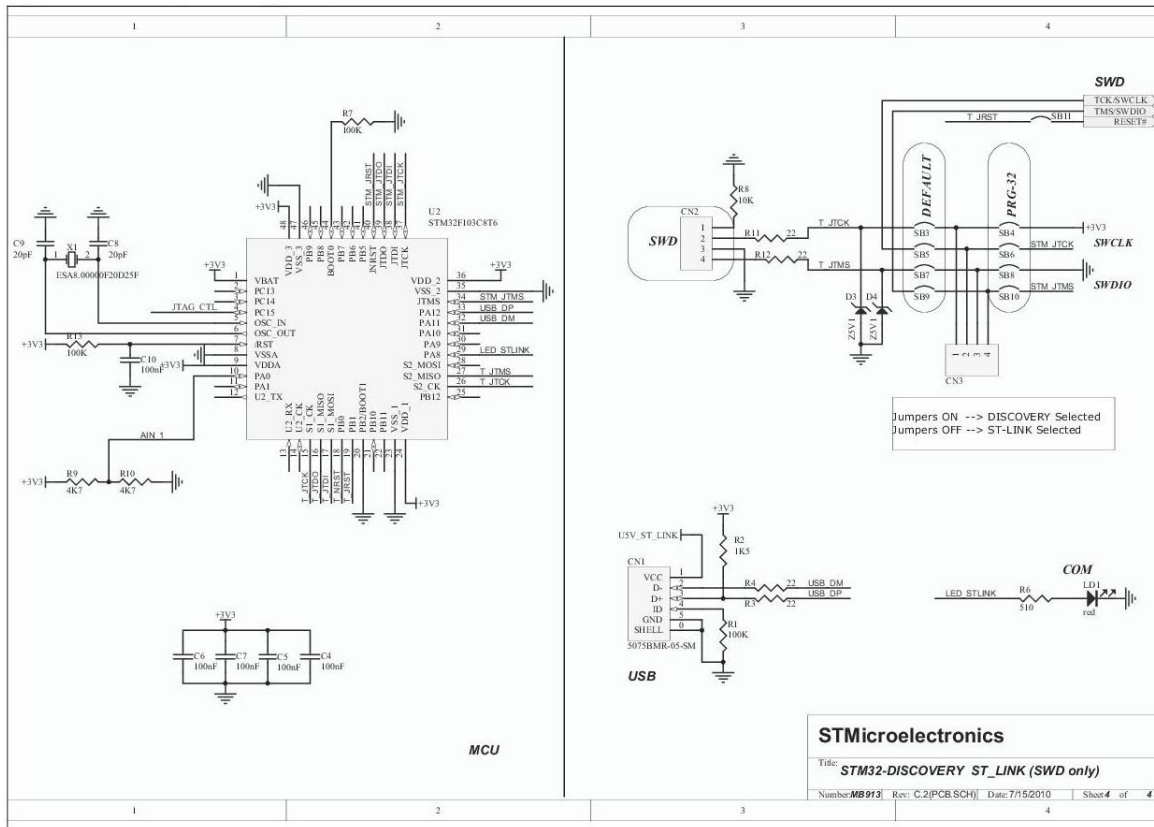


Figura 17.- Circuito eléctrico Discovery Parte 4

5.2 - Circuito Impreso de interconexión

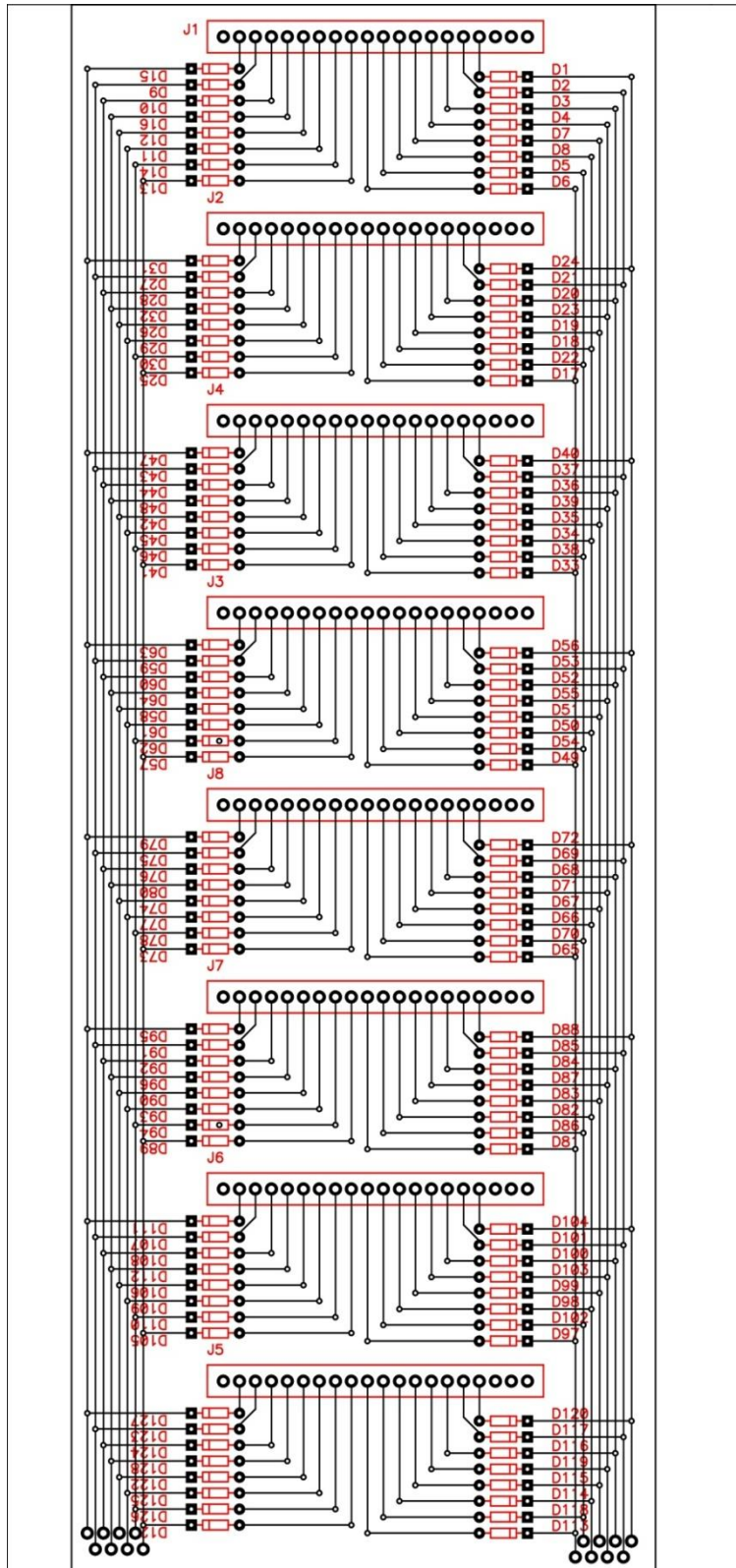


Figura 18

Bibliografía

1. Evaluación del paciente con trastorno de la marcha. Lorena, Cerda A., Revista Hospital Clínico Universidad de Chile 2010; 21. Pág 326 – 336.
2. Medición de las capacidades físicas. de adultos mayores de Quebec: un análisis secundario del estudio NuAge. José Alberto Ávila-Funes, Katherine Gray-Donald, HélènePayette, Publicado en salud pública de México / vol.48, no.6, noviembre-diciembre de 2006.
3. Evaluación de la marcha en el adulto mayor. YennyGaneglius. Publicado en Carta Geriátrico Gerontológica 2011; 4(1): 1–36.
4. Manejo del trastorno de la marcha del adulto mayor Lorena Cerda A. Publicado en Revista Médico Clínica Las Condes 2014.
5. Gait Velocity as a Single Predictor of Adverse Events in Healthy Seniors Aged 75 years and older. Montero-Odasso et al. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences & Medical* ;Oct. 2005, Vol. 60A Issue 10, p1304.
6. Gait variability is associated with Frailty in Community-Dwelling Older Adults. Manuel Montero-Odasso, Susan W Muir, Maggie Hall, Timothy J Doherty, Marita Klooseck, Olivier Beauchet, Mark Speechley. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences & Medical*, May 2011;66(5):568-76.