

Formato para la elaboración del informe académico final de investigación

Con el fin de conocer el proceso y los resultados de los proyectos aprobados en la Octava Convocatoria Interna –FODEIN 2016 y atendiendo a los compromisos adquiridos con la firma del acta de inicio, se presentan a continuación, los siguientes elementos a consignar en el informe final correspondiente:

1. Documento del Informe final del proceso investigativo.
2. Documento del Informe Financiero

Nota: El Informe final en formato **PDF**, **debe enviarse vía correo electrónico a convocatoriasinvestigacion@usantotomas.edu.co** en la Unidad de Investigación **en las fechas establecidas**, junto con una carta de visto bueno firmada en formato físico por los *supervisores* de los respectivos proyectos.

Se deben incluir en el apartado indicado, la relación de todas las ejecuciones presupuestales y contractuales realizadas.

Contenido del informe final del proceso investigativo

Información general de proyecto

Código Interno	1608304-014	Supervisor/ Director Centro de Investigación	Ing. Edgar Javier Barajas Herrera
Nombre del proyecto de investigación	Plataforma Informática para el Análisis de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca Orientado a la Presentación de Servicios de Análisis y Cálculo de Descriptorios. Fase II	Fecha de inicio del proyecto.	29 -02-2016
Nombre del Investigador principal	Javier Enrique González Barajas	Fecha de finalización del proyecto.	30-05-2017
Nombre de los co- investigadores	Eduard Galvis	Fecha de presentación del informe de avance.	
Nombre de los auxiliares de investigación /estudiantes de semillero vinculados	Diego Vaneagas Pablo Ospina	Fecha de presentación del informe de cierre	2-05-2017
Grupo de Investigación/Semillero	MEM	Centro de costos asignado	173404110
Nombre de la línea de investigación	San Alberto Magno	Unidad académica	Facultad de Ingeniería Electrónica

✓ **Título final**

Plataforma Informática para el Análisis de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca Orientado a la Presentación de Servicios de Análisis y Cálculo de Descriptores. Fase II.

✓ **Resumen (indicando los resultados obtenidos)**

La variabilidad de la frecuencia cardíaca es un conjunto de parámetros calculados a partir de los valores de frecuencia instantánea del electrocardiograma. En la primera fase de este proyecto se realizó un análisis de los descriptores y de los algoritmos que permiten su extracción a partir de la señal electrocardiográfica. Esta primera fase del proyecto proporcionó una metodología para el diseño e implementación de estrategias para el cálculo de descriptores, con el fin de poder automatizar el proceso de análisis de la señal electrocardiográfica. Estas estrategias fueron diseñadas, simuladas y probadas con señales provenientes de bases de datos y los resultados publicados en revistas indexadas.

En esta nueva propuesta de investigación se plantea la fase II, se integra el tratamiento digital de señales y la lógica digital para generar un conjunto de estrategias para calcular los parámetros de la variabilidad de la frecuencia cardíaca a través de dispositivos digitales de alto rendimiento.

En esta versión se ha realizado implementaciones usando sistemas de desarrollo acorde a las últimas tendencias: Hardware abierto. Se han probado las plataformas Arduino y Raspberry Pi, las cuales han logrado impactos en publicaciones relacionadas con el tema del tratamiento digital de la señal electrocardiográfica.

En plataformas Arduino se ha logrado la implementación y pruebas de algoritmos desarrollados en la primera fase de este proyecto. En las plataformas Raspberry Pi, se han generado algoritmos para adquisición, visualización y almacenamiento de datos de registros electrocardiográficos. El desarrollo en plataformas Raspberry Pi ha dejado la puerta abierta para el inicio de la tercera fase de este proyecto.

✓ **Palabras clave**

Electrocardiografía, Frecuencia, Variabilidad, dispositivos digitales.

✓ **Marco teórico y estado del arte elaborado.**

El electrocardiograma es una señal eléctrica que representa el comportamiento físico del corazón humano. Esta señal está compuesta por la suma de diferentes ondas, siendo la de mayor amplitud la onda R [1]. La detección de la onda R es el principal proceso para la cuantificación de la frecuencia cardíaca y permite calcular el tiempo entre latido y latido, denominado: Frecuencia Cardíaca Instantánea [2]. Con la finalidad de poder detectar



correctamente la onda R, es necesario tener en cuenta que la señal electrocardiográfica puede estar contaminada con ruido de la línea de potencia eléctrica [3] y por perturbaciones que causan desplazamiento de la línea de base [4].

El análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca está basada en el estudio de la señal de ritmo cardiaco, que está compuesta por los diferentes tiempos medidos entre cada onda R de una señal electrocardiográfica adquirida [5]. La detección de la onda R y la generación de la señal de ritmo cardiaco pueden ser ejecutadas a través del uso de dispositivos digitales denominados micro controladores [6]. Gracias a los nuevos sistemas de acondicionamiento de señales de costo moderado y bajo consumo de energía, es posible obtener un sistema integrado de adquisición de electrocardiogramas y con conexión directa al conversor análogo digital del micro controlador [7]. Esta integración ha permitido el desarrollo de sistemas portátiles para la detección de la onda R y la cuantificación de la frecuencia cardiaca [8].

Los componentes del micro controlador pueden ser optimizados a través de herramientas informáticas que permiten generar controladores para la interacción entre ellos mismos. Esta filosofía de uso, ha generado una nueva gama de arquitecturas denominadas: Sistemas Embebidos [9].

Estos sistemas embebidos pueden ser desarrollados bajo herramientas informáticas de uso libre basadas en el lenguaje de programación estándar C [10]. Como ejemplo, se pueden citar los micro controladores que utilizan estas herramientas de programación de uso libre con un arquitectura tipo ARM, que facilita la ejecución de instrucciones complejas y la comunicación en tiempo real con un computador personal [11,12].

✓ **Consecución del objetivo general y específico planteado.**

Con respecto al objetivo general: “Diseñar una metodología para el diseño e implementación de algoritmos para el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en sistemas digitales de alto rendimiento”. Se ha logrado utilizar las ventajas ofrecidas por las plataformas de hardware abierto para probar algoritmos desarrollados en la primera fase.

Con respecto a los objetivos específicos.

Objetivo específico 1: Diseñar e implementar técnicas de adquisición de señales electrocardiográficas en tiempo real. Se ha logrado la integración entre Arduino y Raspberry Pi para adquirir, almacenar y visualizar señales electrocardiográficas.

Objetivo específico 2: Diseñar e implementar técnicas de filtrado digital para realce de la onda R orientadas a la implementación en dispositivos digitales. En la primera fase del proyecto se había logrado el diseño y simulación de algoritmos y computadores personales. En la segunda fase, los algoritmos fueron adaptados e implementados en la plataforma Arduino. El resultado obtuvo visibilidad a través de un artículo en conferencia indexado en el IEEE.

Objetivo específico 3: Diseñar e implementar técnicas de cuantificación de la frecuencia cardiaca en dispositivos digitales programables. Por medio de la realización de un proyecto de grado, se pudo diseñar e implementar técnicas de cuantificación de frecuencia cardiaca en la plataforma Arduino. Se ha escrito un artículo que está bajo evaluación en una revista indexada. También fueron generados registros de software.

- ✓ Resultados con base en la pregunta de investigación formulada y la metodología planteada.

Acorde a la pregunta de investigación, se ha resuelto la premisa de que los algoritmos basados en tratamiento digital siempre pueden ser mejorados. Actualmente el mercado ofrece alternativas de menos costo, menor consumo de energía y mayor capacidad de procesamiento para las plataformas de desarrollo. Esto implica que es vigente el reto de mejorar los algoritmos que se han desarrollado para el tratamiento digital de la señal electrocardiográfica.

- ✓ Principales logros (diferente de los resultados y productos, ejemplo: alianza interinstitucionales, impactos a nivel de currículo o proyección social, nuevas metodologías propuestas, desarrollos empresariales, innovaciones, etc.).

Desde el punto de vista el currículo, este proyecto ha generado impacto en la generación de nuevas propuestas de prácticas de laboratorios en asignaturas electivas como Sistemas biomédicos y Telemedicina.

Con respecto a proyección social, este proyecto es un aporte al mejoramiento de la calidad de vida de los miembros de la sociedad. El desarrollo de propuestas de dispositivos que puedan medir variables fisiológicas puede abrir la puerta a mejores técnicas de supervisión de pacientes.

El desarrollo de propuestas de dispositivos de medición de parámetros fisiológicos, como la frecuencia cardiaca, impacta en nuevas metodologías y productos que pueden ser atractivos al sector empresarial. También se puede catalogar como innovación, ya que este proyecto produjo un valor agregado al uso de plataformas de hardware abierto.

- ✓ Actividades de formación, impacto en el currículo o actividades de proyección social realizadas o proyectadas con base en los resultados.

Dentro de las actividades de formación se encuentra la inclusión como auxiliar de investigación al estudiante de la Facultad de Ingeniería Electrónica: Diego Vanegas. Actualmente el estudiante es miembro del Semillero de Investigación en Procesamiento Digital de Señales. También se ha incluido en la elaboración de un artículo para evento IEEE al alumno Cristian Velandia, miembro del mismo semillero.

Por otro lado se ha incluido al estudiante del programa de Maestría en Ingeniería Electrónica de la USTA, al ingeniero Pablo Ospina. La inclusión del ingeniero Ospina ha generado un positivo ambiente en el grupo de estudiantes auxiliares, debido a sus contribuciones en el tema de programación e implementación en sistemas embebidos.

Por último, se ha logrado la dirección de proyecto de grado para optar el título de ingeniero electrónico titulado: "DISEÑO DE ALGORITMO PARA CUANTIFICACIÓN DE FRECUENCIA CARDIACA PROMEDIO EN DISPOSITIVO ARM (MAQUINAS AVANZADAS TIPO RISC)". La estudiante dirigida fue July Alejandra Urbano.

- ✓ Ajustes al cronograma (si son necesarios)

Se ha aprobado la entrega del informe final con fecha límite del 20 de mayo de 2017.

- ✓ Dificultades enfrentadas en el desarrollo de la propuesta.

Demoras en el envío de los elementos electrónicos comprados a través de páginas de internet.

- ✓ Resultados.

El desarrollo de la segunda fase de este proyecto obtuvo resultados positivos y de impacto. Desde el punto de vista de visibilidad se han obtenido un artículo en evento IEEE, un capítulo de libro y existe un artículo en revisión de revista indexada. Cabe resaltar que los tres escritos mencionados anteriormente fueron en idioma inglés.

Con respecto al desarrollo tecnológico, este proyecto ha generado un valor agregado al uso de herramientas basadas en hardware abierto (Arduino y Raspberry Pi). También se ha logrado aplicaciones basadas en herramientas de desarrollo de libre uso, como es el caso de Processing. Los principales algoritmos desarrollados han sido el insumo de los respectivos registros de software obtenidos. Los algoritmos fueron la base de la generación de registros de software, cuyos certificados están en la carpeta de productos.

Los insumos gestionados para ejecución de este proyecto y los algoritmos desarrollados, han sido la base tecnológica para el inicio de la tercera fase.

- ✓ Conclusiones.

Aunque existen muchas publicaciones para el tratamiento digital de la señal electrocardiográfica, se considera vigente el desarrollo de nuevas metodologías para la extracción de mediciones de la frecuencia cardiaca.

Los resultados obtenidos en esta fase del proyecto han permitido verificar la necesidad de probar las nuevas tecnologías que se encuentran a disposición y que proporcionan mayor capacidad de procesamiento a menor costo. Por lo cual es importante generar proyectos orientados a la optimización y prueba de algoritmos que permitan mejorar la estimación de la frecuencia cardiaca.

- ✓ Referencias.

- [1] Koeppen B, Stanton B. Fisiología. Elsevier Mosby ed. España 2009. Pag 302 – 304.
- [2] Gonzalez-Barajas, J. E. (2014). Threshold calculation for R wave detection in complex cardiac. Tecno Lógicas, 17(32), 47-55.
- [3] González, Javier Enrique; MONTENEGRO, Davis. Digital analysis and treatment for electromagnetic disturbances in biomedical instrumentation. Omnia Science Monographs, 2014.

- [4] González, Javier B.; BARRERO, Jaime P. Implementación de filtros adaptativos en DSP aplicados al tratamiento de interferencia de 60 hz y desplazamiento de la línea de base del ECG. 2011.
- [5] González, Javier, Forero, Edwin y Marino, Iván. Tratamiento de Rizados en la Estimación de la Densidad Espectral de Potencia de la Señal de Ritmo Cardíaco. Rev. UIS. Ingenierías, 2013, vol.12, n.2, p.p 17-27.
- [6] PÉREZ, Jaime Guillermo Barrero, et al. CARDIOTACÓMETRO DIGITAL PROTOTIPO PARA ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA. REVISTA UIS INGENIERÍAS, 2011, vol. 2, no 2.
- [7] Olimex. EKG Shield: Open Source Hardware Electrocardiography Electromyography Shield for Development Boards, in <https://www.olimex.com/Products/Duino/Shields/SHIELD-EKG-EMG/>. Revisado el 08-08-2014.
- [8] KUMAR, Praveen; JAIN, Monika; CHANDRA, Sagar. Low cost, low power QRS detection module using PIC. En Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2011 International Conference on. IEEE, 2011. p. 414-418.
- [9] Galeano G. Sistemas Embebidos en C. Alfa Omega, Colombia, 2009.
- [10] Leaf labs. Maple. In <http://leaflabs.com/devices/>. Consultada el 08-08-2014.
- [11] González-Barajas, J. E., Velandia-Cárdenas, C., & Nieto-Camacho, J. (2015). Implementación de filtro digital en tiempo real para detección de la onda R. Tecno Lógicas, 18(34), 75-86.
- [12] Olimex. Olimexino STM 32. in <https://www.olimex.com/Products/Duino/STM32/OLIMEXINO-STM32/open-source-hardware>. Revisado el 08-08-2014.

- ✓ **Anexos** (soportes digitales de los productos publicados según compromisos consignados en el acta de inicio)

En la carpeta denominada productos se pueden encontrar evidencias de los siguientes productos:

Capítulo de libro: Average Filtering: Design and Implementation.

Artículo en evento: implementation of real time filter using an open-source platform oriented to r-wave detection.

Artículo en revista: heart rate estimation platform based on open-hardware development board.

Proyecto de grado: Diseño de algoritmo para cuantificación de frecuencia cardíaca promedio en dispositivo arm (maquinas avanzadas tipo risc).

Registros de software: Certificado de registros de software.



Informe de producción investigativa

Tipo de productos derivados del desarrollo del proyecto según compromisos dispuestos en el acta de inicio: movilidades (Código ORII), publicaciones (ISBN, aceptación artículo o publicación), alianzas/redes establecidas (cartas de intención, convenios, etc.), otro tipo de productos (evidencia y medio de verificación). Si es producto no se encuentra terminado al momento de la entrega del informe, se debe relacionar una fecha tentativa de entrega.

Se debe diligenciar la siguiente tabla de relación de productos y relacionar los anexos correspondientes:

Tipo de producto (Artículo, ponencia, evento, libro, capítulo de libro, etc.)	Nombre de producto (Indique título del artículo, ponencia, evento, libro, capítulo de libro, etc.)	Fecha de revisión, publicación o presentación (Indique fechas de publicación, revisión o presentación en evento del producto. Si aún no se tiene el producto final, indique la fecha de entrega)	Nombre de la revista/libro o evento en que se presenta el producto. (Si el producto no se ha finalizado indicar el medio en el que se proyecta la publicación o divulgación)	Modo de verificación (ISSN, ISBN, página web, etc. Si el producto no se ha finalizado, escribir "no se ha finalizado" en esta columna.)	Número de anexo (Incluya en los anexos, de manera ordenada el soporte escaneado que demuestre la existencia del producto o el envío a revisión –asigne un número a cada anexo y relaciónelo en esta columna. Si el producto no se ha finalizado, escribir "no se ha finalizado" en esta columna)
Capítulo de libro	Average Filtering: Design and Implementation	Febrero 2016. Agosto 2016.	Digital Signal Processing (DSP): Fundamentals, Techniques and Applications	ISBN: 978-1-634-851688	Carpeta Productos.
Artículo en evento.	implementation of real time filter using an open-source platform oriented to r-wave detection	Septiembre 2016	STSIVA 2016	ISBN: 978-1-5090-3797-1	Carpeta productos.
Artículo en revista	heart rate estimation platform based on open-hardware development board	Presentado en marzo 2017	Revista Facultad de Ingeniería	ISSN: 0120-6230	Carpeta productos.



*Tenga en cuenta la tipología de productos de Colciencias.

Contenido del informe financiero

- Relacionar los rubros globales que inicialmente fueron aprobados en la propuesta y los que se han ejecutado hasta la entrega del informe.
- Describir el valor ejecutado por rubro a la fecha de entrega.
- Elaborar el detallado de gastos en cada uno de los rubros aprobados, con el valor correspondiente y la fecha de solicitud.

RUBROS FINANCIABLES				Fecha de recepción del recurso solicitado
	Monto aprobado FODEIN	Valor ejecutado	Fecha de solicitud	
Auxilio a investigadores	\$5.000.000	\$5.000.000	Junio 2016	Junio 2016
Equipos	\$7.000.000	\$3.855.600	Junio 2016	Junio 2016
publicaciones	\$1.100.000			
Servicios técnicos	\$17.00.000	\$4.250.000	Junio 2016	Junio 2016
Movilidad académica	\$2.100.000	\$ 2.100.000	Julio 2016	Septiembre 2016
Imprevistos	\$ 600.000			
Pares Académicos	\$ 200.000	\$200.000		
TOTAL	\$33.000.000			