

Revisión literaria tecnológica de dispositivos y métodos para monitoreo de la frecuencia cardíaca fetal

Literary technological review of devices and methods for monitoring of fetal heart rate

SÁNCHEZ-MALDONADO, Alonso Angel†¹, MARTÍNEZ-DURÁN, Ma. Elena¹, ALVARADO-AGUILAR, Jorge Eduardo² y CANO-ANGUIANO, Rosa de Guadalupe¹

¹Instituto Tecnológico de Colima; C.P. 28976 Villa de Álvarez, Colima, México

²Soluciones Médicas del Pacífico S.A. de C.V.; C.P. 28869, Manzanillo, Colima, México

ID 1^{er} Autor: *Alonso Angel, Sánchez-Maldonado* / CVU CONACYT ID: 859710

ID 1^{er} Coautor: *Ma. Elena, Martínez-Durán* / ORC ID: 0000-0003-1615-5130, Researcher ID Thomson: G-2563-2018, CVU CONACYT ID: 437361

ID 2^{do} Coautor: *Jorge Eduardo, Alvarado-Aguilar* / CVU CONACYT ID: 372974

ID 3^{er} Coautor: *Rosa de Guadalupe, Cano-Anguiano* / ORC ID: 0000-0001-7787-9058, Researcher ID Thomson: D-3298-2013, CVU CONACYT ID: 446366

Recibido: Septiembre 15, 2018; Aceptado: Noviembre 12, 2018

Resumen

El presente artículo es resultado de una investigación sobre dispositivos para detectar la frecuencia cardíaca fetal, surgiendo de la necesidad de explorar a nivel nacional una manera de disminuir la mortalidad materno-infantil causada por problemas cardiovasculares en la etapa del embarazo. Se describe la problemática de mortalidad y las enfermedades relacionadas con el sistema circulatorio, mismas que se detectan por medio del electrocardiograma, los cuales analizan el patrón de onda del ciclo del latido, representando el complejo QRS para el conteo de latidos, después se describen los dispositivos médicos, diversos productos de empresas creados para el monitoreo fetal, seguido encontramos las patentes de dispositivos y otras aún no empleadas pero con modelos teóricos comprobados para cubrir las necesidades del monitoreo, también se presentan las necesidades en base al software que estos dispositivos deben cumplir así como las funcionalidades generales para aislar la señal de la frecuencia cardíaca fetal de una señal contaminada por los artefactos del cuerpo de la madre. Finalmente se propone la creación de un dispositivo que cumpla con los principales requerimientos y que además tome las ventajas y desventajas de los productos y patentes.

Frecuencia cardíaca fetal, Complejo QRS, Algoritmo

Abstract

This article is the result of an investigation into devices to detect fetal heart rate, emerging from the need to explore at a national level a way to reduce maternal and infant mortality caused by cardiovascular problems in the stage of pregnancy. It describes the problem of mortality and diseases related to the circulatory system, same as detected by the electrocardiogram, which analyze the wave pattern of the heartbeat cycle, representing the QRS complex for heartbeat count, then the medical devices are described, various company products created for fetal monitoring, followed we found the patents of devices and others not yet used but with theoretical models proven to cover the needs of the monitoring, The needs are also presented based on the software that these devices must comply with, as well as the general functionalities to isolate the signal of the fetal heart rate from a signal contaminated by the artifacts of the mother's body. Finally, we propose the creation of a device that meets the main requirements and that takes the advantages and disadvantages of products and patents.

Fetal heart rate, QRS complex, Medical devices

Citación: SÁNCHEZ-MALDONADO, Alonso Angel, MARTÍNEZ-DURÁN, Ma. Elena, ALVARADO-AGUILAR, Jorge Eduardo y CANO-ANGUIANO, Rosa de Guadalupe. Revisión literaria tecnológica de dispositivos y métodos para monitoreo de la frecuencia cardíaca fetal. Revista de Prototipos Tecnológicos. 2018. 4-14: 23-29.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las muertes por sufrimiento fetal son un problema de salud pública. En 2015, conforme a las cifras del INEGI, se presentaron 22,703 muertes fetales a nivel nacional (Geografía, 2015). Los números son alarmantes, y si a esto le agregamos que no se cuenta con tecnología eficiente para prevenir que esta situación continúe, nos encontramos ante un círculo vicioso que perpetúa esta realidad, por lo que se considera imperativo actuar para cambiar las estadísticas. A nivel nacional la mayoría de las muertes ocurren después de la semana 28, (Geografía, 2015), aunque de acuerdo con los datos de la Secretaría de Salud de Jalisco (SSJ), la mayoría de las defunciones se presentaron entre la semana 22 y 36.

Una de las causas más relevantes de las muertes fetales es la hipoxia fetal o insuficiencia prenatal uteroplacental, que a su vez puede provocar nacimientos prematuros. (D. Astivia, 2014) Para contrarrestar las muertes fetales, el monitoreo de la frecuencia cardíaca fetal (FCF) antes del intraparto se ha convertido en una pieza fundamental de la obstetricia moderna, el empleo de la FCF para determinar el estado fetal se ha utilizado desde hace casi 300 años, (Dueñas García Omar Felipe, 2011) esto impulsa el desarrollo de un dispositivo para el monitoreo de la FCF a manera de evitar más muertes en el periodo de gestación.

La FCF puede obtenerse mediante la colocación de electrodos sobre el abdomen y el tórax de la madre sin embargo el problema radica en que la señal se mezcla con otras señales biomédicas, como la del electrocardiograma materno, la respiración, la actividad estomacal y las contracciones del útero, y por interferencias externas provocadas por la red eléctrica o el ruido térmico. (Luis O. Sarmiento, 2010) En los embarazos de alto riesgo, es necesario llevar un monitoreo estricto de la FCF. El feto puede mostrar signos de sufrimiento si se presenta una alteración en el ritmo cardíaco.

Una FCF entre 120 y 160 latidos por minuto (lpm) se considera normal, fuera de este rango se utiliza una escala de alertas; para los ascensos (amarilla de 161 a 169 lpm por más de 10 minutos y roja si rebasa los 170 lpm) y los descensos (amarilla de 110 a 119 lpm por más de 10 minutos y roja si disminuye los 109 lpm).

ISSN: 2444-4995

ECORFAN® Todos los derechos reservados

El electrocardiograma y ondas

Un electrocardiograma habitual consiste en 5 tipos de ondas (Guillermo, 2005). La onda P representa la despolarización auricular o también llamado proceso de excitación auricular, normalmente de 0,056 s a 0,10 s de anchura y de 0,5 mm a 2,5 mm de altura.

El complejo QRS es la resultante de la despolarización ventricular (Silvestri Francesca, 2018), está formado por la sucesión de 3 ondas de curso rápido, que representan la despolarización del miocardio ventricular. Mide normalmente de 0,06 s a 0,08 s, por debajo de esos valores no se describen perturbaciones. Su anchura y su voltaje sí pueden aumentar. Su detección es la primera y más importante de un ECG (Xuanyu Lu, 2018). Es útil usar como norma de referencia los valores siguientes: Aumentos de anchura de 0,08 s a 0,10 s: hipertrofias ventriculares de 0,10 s a 0,12 s: bloqueos incompletos de rama de 0,12 s en adelante: bloqueo completo de rama. La frecuencia cardíaca se determina como el número de latidos cardíacos que ocurren en 1 minuto, se mide en función de una onda R a la siguiente onda R para determinar la frecuencia ventricular y de una onda P a la siguiente onda P para la frecuencia auricular. (CONTINUA, 2015).

Por último, la onda T representa el mismo recorrido que hizo la onda de despolarización que engendró el complejo ventricular QRS, pero tiene 2 elementos que diferencian ambos fenómenos. Tiene una anchura de 0,10 s a 0,25 s; QRS la posee de 0,06 s a 0,08 s. Esa diferencia se traduce, morfológicamente, de este modo: mientras QRS presenta ondas de curso rápido, T es una onda de configuración lenta. La onda T es, además, el resultado de un proceso cuya orientación espacial es inversa con respecto al complejo ventricular (Guillermo, 2005).

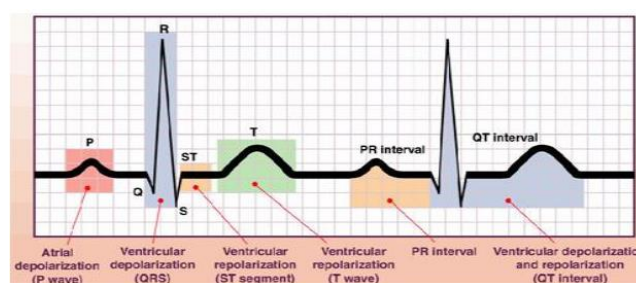


Figura 1 Ondas del electrocardiograma (CONTINUA, 2015)

Para llevar un monitoreo de la FCF en el mercado actual existen diferentes dispositivos.

Dispositivos de medición en embarazo

Fetoscopio: Un Fetoscopio es un dispositivo especialmente diseñado para escuchar los latidos del bebé que se parecerá mucho a un estetoscopio. El mismo está equipado con un auricular especial, el cual le permite al médico escuchar los latidos del corazón del bebé. El fetoscopio deberá ubicarse en diferentes lugares de acuerdo a la posición del bebe a fin de poder detectar los latidos fetales. Existen varios tipos de fetoscopios y se pueden utilizar desde las 18 semanas del embarazo.

Doppler: es un tipo de ecografía que utiliza ondas sonoras para medir el flujo de la sangre a través de un vaso sanguíneo. El flujo aparece en forma de ondas sobre la pantalla del ecógrafo. Los estudios del flujo por Doppler se pueden utilizar para evaluar el flujo sanguíneo en las venas y arterias umbilicales y en el cerebro y el corazón del bebé. Si el estudio muestra una disminución en la cantidad de flujo sanguíneo, es posible que se requieran otras pruebas.

Monitorización fetal electrónica: consiste en un dispositivo especialmente diseñado para realizar un monitoreo de la frecuencia cardiaca del bebé continuamente durante el transcurso del trabajo de parto o en cualquier momento. El monitoreo fetal electrónico además se encargará de registrarlas contracciones uterinas durante el trabajo de parto. Esta información podrá ser utilizada para determinar el estado del bebé durante el trabajo de parto y el parto mismo.

Existen dos clases principales de dispositivos especialmente diseñados para realizar monitoreo fetales electrónicos

Monitorización electrónica fetal externa: El monitoreo fetal externo se llevará a cabo utilizando una serie de electrodos los cuales se ajustan al abdomen. Estos electrodos, conocidos con el nombre de transductores o sensores permitirán captar y grabar (registrar) los latidos del bebé y las contracciones uterinas.

Estos dos electrodos deberán ser anexados a una banda elástica la cual se colocará alrededor del abdomen.

Los mismos más tarde serán conectados a una maquina con monitor que le permitirá al médico visualizar toda la información relacionada al ritmo cardíaco del bebé y actividad uterina. Si este registro es normal, nos indica que con una alta probabilidad no existe sufrimiento fetal. Durante la labor de parto puede usarse en forma continua o intermitente. Esto es un beneficio para los partos con riesgo.

Monitorización electrónica fetal interna: Muchas veces, el monitoreo fetal deberá realizarse internamente. Para ello, el médico deberá introducir un electrodo a través del cuello uterino y colocarlo rodeando el cuerpecito del feto. Este electrodo, conocido con el nombre de electrodo fetal interno, tendrá la apariencia de un pequeño elástico o resorte, y será colocado en la parte superior de la cabeza del bebé. El mismo permitirá que pueda llevarse a cabo la transmisión de toda la información relacionada al ritmo cardíaco del bebé, la cual será reflejada en la pantalla de un monitor.

El monitoreo electrónico fetal interno es sumamente preciso, aunque sólo podrá ser utilizado si ya se hubiera roto la bolsa de líquido amniótico y si el cuello uterino ya estuviera parcialmente dilatado.

Monitorización telemétrica: es muy semejante a la monitorización fetal normal, pero en este caso la madre puede mantener la movilidad. Este es el sistema más novedoso y utiliza ondas de radio.

En el mercado mundial actual existen muchos dispositivos que monitorean la FCF, dentro de los más conocidos se encuentra el Doppler fetal profesional Sonotrax (Patente nº 01.54.455562, 2016) sus configuraciones parecen ser de las más genéricas del mercado, hace uso de una pantalla LCD con indicadores de la Frecuencia desde 50 a 210 rpm, permite escuchar los latidos fetales desde la semana 8 a 10, cuenta con una sonda intercambiable y dispone de una unidad de cálculo de pulso fetal, es un modelo doppler portátil de altas prestaciones con sonda sumergible.

El concepto general de un aparato ambulatorio con una sonda periférica parecen los más comunes en el mercado.

También existen algunas aplicaciones que usan un dispositivo Smartphone para la visualización y codificación de la señal, por ejemplo, Shell (Bellabeat, 2016) que consta de un gadget parecido a una concha que se coloca sobre la mujer embarazada, brinda una forma de escuchar los latidos del bebe, combina el método del cuerno o cono de Pinard, utilizando para captar latidos cardiacos de un bebe de forma natural, Shell trabaja filtrando el ruido de fondo, artefactos y amplificando los latidos del corazón del bebe para poder reproducirlos después.

Dentro de los dispositivos encontrados en el mercado Monica (Ltd, s.f.) parece ser el mejor en el aspecto ambulatorio, consta de cuatro sensores conectados a un muy completo sistema de comunicación e interpretación resultado del monitoreo de la FCF, es capaz de transmitir datos como el monitoreo del corazón del bebe, el historial clínico del paciente o hasta su ubicación en caso de emergencias, la comunicación se logra por el protocolo Bluetooth a una aplicación que almacena estos resultados en un sistema web disponible para el personal clínico que lleva el seguimiento del embarazo en caso de tener que tomar decisiones críticas sobre el cuidado del bebe.

Continuando con la investigación se encontro a Avalon FM50 (PHILIPS, s.f.), de la empresa Philips, el producto es una serie de monitores fetales y maternos, consideran ser los primeros y únicos en ofrecer la detección automática de coincidencia por medio de la verificación por canal cruzado utilizando la tecnología Smart Pulse, midiendo las frecuencias cardiacas fetales y maternas por separado mejorando la confiabilidad del diagnóstico.

Para finalizar se menciona el sistema de Sense4Baby (AirStrip, 2015) de la empresa AirStrip, es un sistema de monitoreo materno y fetal no invasivo, inalámbrico y electrónico, utiliza esta tecnología para transmitir datos a un sistema de almacenamiento de datos en la nube, en cumplimiento de la ley HIPAA. Sense4Baby fue diseñado para satisfacer estrictos requisitos médicos, está probado por la FDA y la Norma CE para el proveedor de atención médica y la autoadministración materna. Posee un portal web para que los médicos pueda llevar un control de los pacientes de manera remota.

Dentro de los dispositivos se encuentran una serie de patentes registradas en varios países y validadas en su funcionalidad, la primera de estas será de un método y aparato para medir la frecuencia cardiaca fetal y un sensor electroacústico para recibir sonidos del corazón fetal. Método y aparato para la medición no invasiva a largo plazo de la frecuencia cardíaca fetal. (United States Patente nº US6245025, 2001) El método utiliza las curvas características del primer y segundo sonido cardíaco recibidas por el convertidor electroacústico preferido.

La relación de tiempo entre los sonidos (primero y segundo) es utilizada para la identificación y distinción del latido del corazón, lo cual aumenta altamente la confiabilidad de la determinación de la frecuencia cardiaca fetal. Esta distinción de sonidos se basa en las diferencias en los espectros de frecuencia medidos en una ventana de tiempo relativamente corta y en la estimación de los picos de potencia medidos en dos frecuencias de prueba elegidas en los dos extremos de la gama de frecuencias del sonido cardíaco fetal. Implementada en un aparato integrado para lograr un bajo consumo de energía para mediciones a largo plazo operadas por baterías. El filtrado digital y la estimación de potencia selectiva se aplica para el cálculo continuo de la función de tiempo de potencia en las dos frecuencias de prueba.

El Sistema y método de monitoreo fetal (United States Patente nº US8694081B2, 2014) es un sistema y un método asociado incluyen un sensor AECG/PCG configurado para generar una señal AECG/PCG en respuesta al corazón fetal monitorizado. Incluye un transductor US configurado para generar dicha señal. Así como un ordenador configurado para evaluar la calidad de la señal AECG/PCG y comparar la calidad evaluada de la señal AECG/PCG con un valor umbral seleccionable.

La computadora está configurada para deshabilitar el transductor y procesar la señal AECG/PCG para proporcionar una estimación de frecuencia cardiaca fetal, siempre y cuando la calidad evaluada de la señal AEC/PCG exceda el valor de umbral seleccionable. Aparato para monitorear ritmo cardíaco fetal (United States Patente nº US20080183092A1, 2008)

El aparato para controlar un latido del corazón fetal es capaz de extraer uno o más electrocardiogramas fetales (fECG) de una señal compuesta detectada en el abdomen de una mujer embarazada. Incluye componentes específicos de bajo ruido: una pluralidad de electrodos (1-3) para la colocación en el abdomen durante el embarazo y un medio de grabación y procesamiento de señales (34). Los cables filtrados también se utilizan, según sea necesario.

Las señales indicativas de los voltajes desarrollados entre cada electrodo abdominal (1-3) y un electrodo de referencia (R) se registran en una pluralidad de canales de señal.

Los datos dentro de cada canal se digitalizan y procesan para generar una pluralidad de señales fuente separadas, al menos una de las cuales se relaciona con el fECG de un solo feto.

Aparato y método para detectar una frecuencia cardíaca fetal (United States Patente n° US20120150053A1, 2012) Incluye tres detectores de latidos cardíacos del feto, cada detector con al menos dos electrodos que detectan señales de ECG, estos ubicados en el abdomen de la madre. Incluye también un procesador acoplado a los detectores para procesar las señales de ECG recibidas de los detectores y determinar la frecuencia cardíaca del feto.

El método para determinar la frecuencia cardíaca del feto se deben colocar los detectores en el abdomen de la madre la posición del feto dentro de un útero, controlar las señales de ECG obtenidas de los detectores durante un período de tiempo predeterminado y procesar el ECG señales obtenidas de los detectores ubicados en el abdomen de la madre para determinar los latidos fetales.

Para el monitoreo tecnológico respecto a las tecnologías disponibles que brindan servicios a pacientes y madres embarazadas, se encuentran distintos dispositivos que tienen el mismo objetivo, teniendo una similitud ya sea en el funcionamiento completo o solo en el objetivo principal, algunos ya no son totalmente portátiles y son solo de uso exclusivo en hospitales.

Método para la adquisición, filtrado y caracterización de la señal cardíaca fetal (México Patente n° 353004, 2014) Un sistema de monitoreo de parámetros biológicos, y de manera particular al método de procesamiento digital y analógico para la reducción de las señales de ruido mediante la caracterización de señales de frecuencia, tales como la frecuencia cardíaca maternal, ruidos musculares e inducidos por fuentes de energía externas, logrando así la obtención confiable de la señal cardíaca fetal, a través de electrodos convencionales o de anillos concéntricos. Describe un método de adquisición, filtrado y caracterización de señales cardíacas fetales obtenidas a través de electrodos conectados a la superficie del vientre materno.

En el desarrollo del software que usan estas patentes y dispositivos se tiene un objetivo común en este tipo de algoritmos de estimación de la frecuencia cardíaca fetal, generalmente extraen la forma de onda del ECG fetal de una forma de onda de ECG compuesta que consiste tanto en ECG materno como en ECG fetal. Las formas de onda de ECG compuesto también se denominan abdominal, ya que se registran en la región abdominal de una mujer embarazada.

Además del ECG fetal, estas formas de onda suelen contener interferencias que provienen de múltiples fuentes que incluyen el ECG materno, las contracciones musculares (electromiograma, EMG), los artefactos de movimiento y las interferencias en la línea de abastecimiento de energía (M.I. Ibrahimy, 2003), (G.M. Friesen, 1990). El potencial eléctrico producido por las contracciones musculares también se incluye en el compuesto en forma de onda. La impedancia de la piel/electrodo cambia a medida que los electrodos cambian de posición. Esto da como resultado una desviación de línea de base, que también se llama artefactos de movimiento. (Ismet Sahin, 2009). Existen muchos algoritmos para discernir la forma de onda que están diseñados para separar la forma de onda del ECG fetal de la compuesta, cancelando el ECG materno y las otras interferencias. Algunos sistemas precisos y multifuncionales (LTD, 1989) han sido diseñados para monitorear FCF y contracciones uterinas en el hospital. Estos monitores son complejos y costosos, y son incómodos de utilizar en la vida diaria y/o trabajo.

También se han desarrollado monitores portátiles FCF, algunos con ultrasonido Doppler (Murakami), pero no son adecuados para la monitorización ambulatoria a largo plazo (Crowe JA, 1995). Algunos monitores registran la onda del corazón fetal (Shao-Ku Kao, 1995), pero requieren demasiada energía y se vuelven demasiado pesados para ser portátiles realmente. Algunos telemétricos de frecuencia cardíaca en miniatura con microcontroladores son de baja potencia, de pequeño tamaño y portátiles, pero no pueden almacenar datos anormales cuando están fuera del hospital. La ecografía Doppler y el electrocardiograma fetal (FECG) son dos métodos comerciales utilizados para medir la FCF. La ecografía Doppler requiere habilidad para operar y posicionar el transductor para adquirir el sonido del corazón del feto, lo que hace que no sea adecuado para la monitorización ambulatoria a largo plazo.

El FECG, como lo usan algunos monitores, generalmente necesita de la forma de onda. Estos monitores están equipados con memoria masiva, pero registran solo un corto período de FECG (Chih-Lung Lid, 1997). Para el desarrollo de estos algoritmos de usan estos lenguajes que son eficientes al manejar grandes cantidades de datos y de operaciones matemáticas en un período de tiempo muy corto o al instante. En el uso de microcontroladores los lenguajes de la familia C parecen tener una amplia ventaja sobre el resto el lenguaje C es un lenguaje para programadores en el sentido de que proporciona una gran flexibilidad de programación y una muy baja comprobación de incorrecciones, de forma que el lenguaje deja bajo la responsabilidad del programador acciones que otros lenguajes realizan por sí mismos. (Vicente, 1996).

Conclusión

Después de esta investigación se encontró que el principal objetivo de un dispositivo para obtener la frecuencia cardíaca fetal es separar la señal del bebe de la señal de la madre, filtrar la misma de ruidos externos y de artefactos internos, en algunos dispositivos se cumple este objetivo usando sensores de mayor calidad, significando mayor coste de producción, en caso contrario lo que se tendría que mejorar es el software de filtrado de señales, pero necesitaría mayores recursos de procesamiento resultado en un impacto económico similar.

Algunas de las medidas que toman las empresas son usar diversos tipos de sensores y de hardware para el desarrollo físico de sus dispositivos, separando en diversos sensores tareas de filtrado al igual que de procesamiento en procesadores ubicados en ordenadores fijos, para el software se usan lenguajes de programación que hace mejor uso de recursos en los dispositivos sobre los que se compilarán, haciendo los lenguajes nativos o de bajo nivel los mejores para el procesamiento de las señales. La clara necesidad de un dispositivo que le permita a una madre monitorear el comportamiento de su hijo en casos de embarazos de alto riesgo nos da la oportunidad de desarrollar un tipo de dispositivo con las características de ser cómodo, fácil de usar, confiable en la información que recibiría. Se plantea el desarrollar un cinturón materno-fetal de monitoreo de frecuencia cardíaca fetal y presión arterial maternal con un sistema de monitoreo de alertas para la madre como para el personal médico involucrado en el embarazo de la paciente.

Agradecimiento

A la empresa Soluciones Medicas del Pacifico, por prever de medios necesarios para el desarrollo de la investigación, equipo médico y espacio de trabajo dentro de las instalaciones del Hospital Civil de la ciudad de Guadalajara.

Referencias

- AirStrip. (10 de noviembre de 2015). Ficha técnica de Sense4Baby de AirStrip. Recuperado el 24 de mayo de 2018, de <http://pdf.medicaexpo.es/pdf/airstrip-technologies/electronico-inalambrico-monitoreo-fetal/81494-159931.html#open>
- Barrie Hayes-Gill, D. J.-F. (2012). United States Patente nº US20120150053A1.
- Bellabeat. (Noviembre de 2016). Bellabeat Introduce Free App and Add-On that Safely Detect Fetal Heartbeat. Obtenido de https://www.bellabeat.com/assets/img/press/Shell_by_Bellabeat_November_2016.pdf
- Chih-Lung Lid, N.-C. W.-Y.-H.-S.-T. (1997). A portable monitor for fetal heart rate and uterine. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 83.

- CONTINUA, D. D. (2015). Lectura, Comprensión e Interpretación del Electrocardiograma. (EDIC College) Obtenido de <http://ediccollege.edu/wp-content/uploads/2016/01/Lectura-Comprension-EKG.pdf>
- Crowe JA, H. A.-G. (1995). The feasibility of long-term fetal heart rate monitoring in the home environment using maternal abdominal electrodes. *Physiological Measurement*, 195-202.
- D. Astivia, R. D. (2014). Electrocardiógrafo materno-fetal abdominal: Prototipo portátil. MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA BIOMÉDICA.
- Dueñas García Omar Felipe, D. S. (2011). Controversias e historia del monitoreo cardiaco fetal. Departamento de Ginecología y Obstetricia.
- G.M. Friesen, T. J. (1990). A comparison of the noise sensitivity of nine QRS detection algorithms. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 85-98.
- Geografía, I. N. (2015). Estadísticas Vitales. Defunciones Generales y Fetales. ((INEGI) Obtenido de <http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/231/datafile/F2/V26>
- Guillermo, F. S. (2005). El Electrocardiograma. Componentes. Valores normales y Semiología de sus perturbaciones. En *ELECTROCARDIOGRAFIA* (5ta ed., págs. 021-35). Obtenido de http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/pdvedado/franco_03.pdf
- INSTRUMENTS, E. (2016). Patente nº 01.54.455562.
- Ismet Sahin, N. Y. (2009). A Method for Subsample Fetal Heart Rate Estimation Under Noisy Conditions. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 875-883.
- Kabakov, S. (2014). United States Patente nº US8694081B2.
- Ltd, M. H. (s.f.). Recuperado el 09 de junio de 2018, de <http://www.monicahealthcare.com/why-monica/introduction>
- LTD, T. C. (1989). Fetal Actocardiographmodel MT-332. Tokio, Japon.
- Luis O.Sarmiento, I. V. (2010). Non-invasive fetal heart rate estimate by use of blind signal separation techniques. *Revista Colombiana de Cardiología*, 17, 187-190. doi:[https://doi.org/10.1016/S0120-5633\(10\)70238-2](https://doi.org/10.1016/S0120-5633(10)70238-2)
- M.I. Ibrahimy, F. A. (2003). Real-time signal processing for fetal heart rate monitoring. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 558-261.
- Miklos, T. (2001). United States Patente nº US6245025.
- Murakami, M. C. (s.f.). A New System of Home Monitoring foe Fetal Health Care. *Journal of Maternal-Fetal Invest.*
- PHILIPS. (s.f.). Monitoreo Fetal y Materno. Recuperado el 25 de mayo de 2018, de <https://www.philips.com.mx/healthcare/product/HC865071/avalon-fm50-fetal-monitor>
- Rangel Breña Jose Carmelo, A. M. (2014). México Patente nº 353004 .
- Shao-Ku Kao, P. G.-J. (1995). Microprocessor-based physiological signal monitoring and recording system for ambulatory subjects. *Medical and Biological Engineering and Computing*.
- Silvestri Francesca, C. G. (2018). Comparison of Low-Complexity Algorithms for Real-Time QRS Detection using Standard ECG Database. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 307-314. doi:<http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.8.2.4956>
- Smith Mark John, W. P. (2008). United States Patente nº US20080183092A1.
- Vicente, B. E. (1996). *Lenguaje C*. Valencia: Universitat de València. Obtenido de <https://informatica.uv.es/estguia/ATD/apuntes/1aboratorio/Lenguaje-C.pdf>
- Xuanyu Lu, M. P. (2018). QRS Detection Based on Improved Adaptive Threshold. *Journal of Healthcare Engineering*, 2018. doi:<https://www.hindawi.com/journals/jhe/2018/5694595/>