

Estimation of the relation between the profile of the heart pulse wave and blood pressure through a digital monitoring system for pulsation control by minutes  
**Estimación de la relación entre el perfil de la onda del pulso cardiaco y la presión arterial a través de un sistema digital de monitoreo de pulsaciones por minutos**

- María J. Ramos Carranza<sup>1</sup>, Yuranis De los Reyes Varela<sup>1</sup>, Leslie Lerma Arango<sup>1</sup>, Evelyn Moreno Ortiz<sup>1</sup>, Nataly J. Galán Freyle<sup>2</sup>, Leonardo C. Pacheco Londoño<sup>2</sup>, Reynaldo Villareal<sup>2</sup>

Facultad de Medicina, Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.  
School of Basic and Biomedical Science, Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.  
MacondoLab, Laboratorio de prototipado, Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.

## ABSTRACT

The present project aims to establish an estimate of the relationship between heart pulse wave and blood pressure through a digital monitoring system for pulsation control by minutes. This is done through an algorithm developed on the Arduino platform, with the adaptation of a pulse sensor. That's why it's necessary an investigation made of the traditional methods used to make this estimate, such as the inflation bracelets.

However, the use of these devices has some disadvantages in terms of size (they need a pump to inflate the cuff) and for the very fact of obstructing the artery when measuring. On the other hand, these methods have been widely used for the monitoring of blood pressure in patients who require immediate attention in health centers. Although traditional methods are effective and safe for the diagnosis of hypertension, what is sought is a simple, small and comprehensive system. That's why it's necessary the development of this project because the sensor allows us collect information and the exactly time they were taken, this way it could be easier measure blood pressure

**Methods:** This is an experimental study, with a population of people from 18 years old. They were surveyed about their lifestyle and their blood pressure was taken with the sphygmomanometer and the device designed by MacondoLab engineers from the Simón Bolívar University.

**Results:** sedentary lifestyle, underlying diseases and family history of hypertension in our study population is one of the main risk factors for developing hypertension, since taking into account the surveys and the data obtained by means of a cardiac pulse sensor, it is evident that there are a relationship between cardiovascular hemodynamic changes with the patient's lifestyle conditions for the development of HTA.

**Keywords:** Blood pressure, pulse, sensor, heart rate, arterial hypertension

## RESUMEN

El presente proyecto pretende establecer una estimación de la relación entre la frecuencia cardiaca y la presión arterial. Esto mediante un algoritmo desarrollado en la plataforma Arduino, con la adaptación de un sensor de pulso. Dentro de los métodos tradicionales que se emplean para realizar esta estimación se encuentran los brazaletes inflatorios, conocido comúnmente como tensiómetro.

Sin embargo, el uso de estos dispositivos tiene algunas desventajas se necesita un personal calificado para su utilización y en término del tamaño (necesitan una bomba para insuflar el brazalete) lo cual puede obstruir la arteria al efectuar la medición. A pesar de que los métodos tradicionales resultan ser eficaces y seguros para el diagnóstico de la hipertensión, lo que se busca es un sistema simple, pequeño e integral. Por esto es necesario la realización de este proyecto, el cual, por medio del sensor de pulso permita recopilar datos y los tiempos en que estos fueron tomados, siendo esta una manera más sencilla de medir la presión arterial.

**Método:** Este estudio es de tipo experimental, con una población de 106 personas mayores de 18 años de edad. A ellos se les realizó una encuesta sobre el estilo de vida y se les midió la presión arterial con un sistema de medición integrado diseñado en el laboratorio de prototipado (MacondoLab) de la Universidad Simón Bolívar, el cual fue validado con medición de un tensiómetro convencional.

**Resultados:** El sedentarismo, enfermedades de base y los antecedentes familiares de HTA de nuestra población de estudio es uno de los principales factores de riesgo para desarrollar hipertensión ya que teniendo en cuenta las encuesta y los datos obtenidos por medio de sensor de pulso cardiaco se evidencia que hay

una relación entre las alteraciones hemodinámicas cardiovasculares con las condiciones del estilo de vida del paciente para el desarrollo de la HTA.

**Palabras clave:** Presión arterial, sensor, pulso, frecuencia cardíaca, hipertensión

## INTRODUCCIÓN

Se entiende por hipertensión, a la elevación de la presión arterial sistólica, la presión arterial diastólica o ambas por encima de los niveles normales, (120/80 mmHg, respectivamente).

**Tabla 1. Cifras de presión arterial<sup>1</sup>**

Categoría	Cifras de presión arterial (mmHg)
Normal	< 120/80
Elevada	120-129/< 80
Hipertensión estadio 1	130-139/80-89
Hipertensión estadio 2	≥ 140/90

Para plantear datos básicos que permitan entender la patogenia y las opciones terapéuticas de trastornos hipertensivos, es de utilidad conocer factores que intervienen en la regulación de la presión arterial normal y elevada. Los dos factores determinantes de la presión mencionada son el gasto cardíaco y la resistencia periférica<sup>2</sup>. El primer factor (gasto) depende del volumen sistólico y la frecuencia cardíaca; el volumen sistólico depende de la contractilidad del miocardio y de la magnitud del compartimiento vascular. El segundo o resistencia periférica es regido por los cambios funcionales y anatómicos en las arterias de fino calibre y arteriolas.

En 2008, en el mundo se habían diagnosticado de hipertensión aproximadamente el 40% de los adultos mayores de 25 años; el número de personas afectadas aumentó de 600 millones en 1980 a 1000 millones en 2008. La máxima prevalencia de hipertensión se registra en la Región de África, con un 46% de los adultos mayores de 25 años, mientras que la más baja se observa en la Región de las Américas, con un 35%. En general, la prevalencia de la hipertensión depende del tipo de ingreso de cada país. Los países con menores ingresos, es decir países con ingresos bajos y medios la hipertensión es más prevalente debido a que existe una sobrepoblación en comparación con los países de ingresos elevados. Adicionalmente, a causa de la debilidad de los sistemas de salud, el número de personas hipertensas sin

diagnóstico, tratamiento y sin control de la enfermedad es más elevado en los países de ingresos bajos y medios si se compara con los países de ingresos elevados<sup>3</sup>.

Una de las causas del incremento de las enfermedades cardiovasculares es el uso del tabaco y la malnutrición.

En 2008 había 1000 millones de fumadores en el mundo y la prevalencia mundial de la obesidad casi se había duplicado desde 1980. La prevalencia mundial del hipercolesterolemia entre los adultos mayores de 25 años era del 39%, y la de la diabetes del 10%. El consumo de tabaco, la dieta malsana, el uso nocivo del alcohol y el sedentarismo también son los principales factores de riesgo conductuales de todas las enfermedades no transmisibles importantes, es decir, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes, las enfermedades respiratorias crónicas y el cáncer.

En Colombia, la tasa de mortalidad promedio ajustada por edad, para la hipertensión arterial (HTA), en el período 2005-2010, se situó en 12,1 personas por cada 100.000 habitantes. Los departamentos con las mayores tasas de mortalidad ajustada por edad para hipertensión arterial son: Boyacá, Casanare, Meta, San Andrés y Vichada, cuyas tasas de mortalidad por HTA se encuentran entre 19,15 por 100.000 (caso Vichada) y 21,35 por 100.000 (caso Boyacá)<sup>4</sup>.

Los dispositivos para determinar la frecuencia cardíaca han sido de gran ayuda para la valoración y estudio de las condiciones de los pacientes que pueden tener complicaciones; Los motivos y usos de estos mismos son útiles e indispensables para ver qué cambios pueden tener los pacientes en su día a día, pudiendo monitorear los comportamientos de estos, para sospechar de enfermedades cardiovasculares. Este proyecto busca entender la relación que existe entre el perfil de la onda del pulso cardíaco y la presión arterial a través de un sistema digital de monitoreo de pulsaciones por minutos, mostrando así que anomalías o cambios en el perfil de onda del pulso cardíaco son indicadores de relevancia para poder identificar alteraciones cardiovasculares como la hipertensión arterial, permitiendo establecer de manera fácil y rápida las condiciones de los pacientes con dicha alteración, permitiendo un mejor control de los parámetros fisiológicos de los pacientes e intervención oportuna del personal médico para

las condiciones del paciente. El dispositivo<sup>5</sup> diseñado en la plataforma Arduino capturó el perfil de onda de 106 pacientes debidamente categorizados según su condición física y social a través de una encuesta suministrada y previo consentimiento. La captura se realizó por medio de un sensor digital acoplado a esta plataforma durante un periodo de 1 minuto. Inmediatamente, a cada uno de los pacientes se le tomó la presión arterial. La adquisición de todos los datos fue llevada a cabo en un tiempo total de aproximadamente 7 minutos por paciente.

Los parámetros Psico-sociales de los pacientes fueron tenidos en cuenta para establecer una relación de los resultados adquiridos con diversas causas de la enfermedad, para poder saber si realmente el origen es patológico o fisiológico por alguna actividad, cambios emocionales, deportes o causas que elevan la frecuencia cardíaca para evitar confundir anomalías en los individuos seleccionados y poder brindar un seguimiento más adecuado y completo para un mejor acompañamiento y rutina.

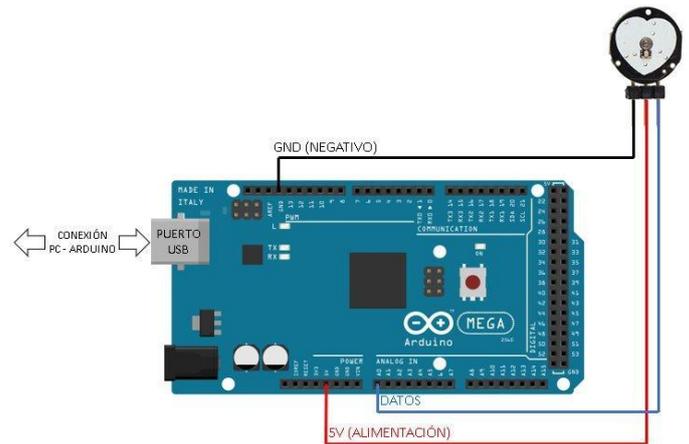
## II. MÉTODOS

### II.a. Marco metodológico

Se realizó un estudio de tipo experimental. Los criterios de inclusión de la población de estudio fueron: personas mayores de 18 años, consentimiento de participación en el estudio, personas sanas y personas que estén diagnosticadas con alguna enfermedad de base. La población de estudio estuvo conformada por 106 personas, incluyendo vecinos del conjunto residencial Villa Sofía, en el municipio de Soledad, Atlántico, estudiantes y funcionarios de la Universidad Simón Bolívar en la ciudad de Barranquilla.

### II.b. Adquisición de los datos

Se utilizó un dispositivo desarrollado en el laboratorio de prototipado de MacondoLab de la Universidad Simón Bolívar, Barranquilla-Colombia. El dispositivo cuenta con las siguientes partes: Arduino Mega 2560 (Figura 1), Cables Jumper (macho-hembra), Sensor de pulso cardíaco, manecilla de velcro, cable de alimentación USB, el cual se conecta a la computadora para el almacenamiento de la información a través del programa Visual Studio Code, que permite la visualización de los mismos.



**Figura 1. Esquema del dispositivo de pulso cardíaco**

En primer lugar, a cada uno de los pacientes se le suministró una encuesta de 15 preguntas (ver material suplementario) para evaluar los factores de riesgo psico-sociales. Además, de la solicitud de aceptación al análisis a través de un consentimiento informado (ver material suplementario).

Luego, a cada uno de los pacientes se le colocó en su dedo índice de la mano izquierda la manecilla que contiene el sensor de pulso, la medida del pulso fue tomada a una frecuencia de 0,01 segundos por 1 minuto. Se desarrolló un sistema automático de almacenamiento de datos, donde solo se suministraba la información del nombre del paciente y presión arterial (VER figura 1). Por lo tanto, al paciente se le midió la presión arterial a través de un tensiómetro (WelchAllyn) lo que permitió la validación de la medida de presión. Las consideraciones éticas que se tuvieron en cuenta fueron el consentimiento informado de una persona que decide ser objeto pasivo de una investigación, los artículos 14, 16, literal b) del artículo 59 y el artículo 84 de la Resolución 8430 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, 1993).

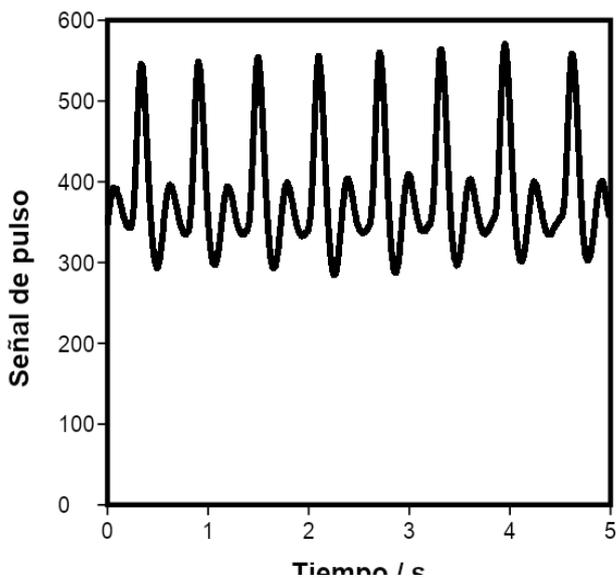
El estudio se clasificó en categoría experimental sin riesgo y las variables estudiadas fueron: presión arterial, sexo, edad, frecuencia cardíaca, consumo de alcohol, consumo de cigarrillo y enfermedades concomitantes.

Los datos recogidos, se tabularon utilizando el programa Microsoft Excel. Además, se hizo el análisis gráfico y estadístico de todas las variables incluidas en el estudio.

### II.c Análisis de los datos

Una vez recopilada la información del sensor desde Visual Studio Code, donde se guarda automáticamente en un archivo de texto los datos obtenidos, se procedió a analizar en Microsoft Excel mediante un sistema de estadística multivariado, dando como resultado una señal de pulso medida en un tiempo determinado (0,01 segundos). (Figura 2)

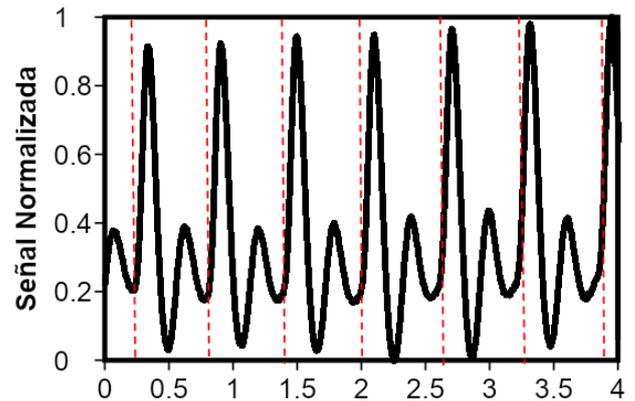
**Figura 2. Data relación señal pulso vs tiempo.**



Luego se procedió a normalizar la señal para obtener una mejor visualización de los datos con los rangos de [0,1], con la siguiente formula<sup>5</sup> de normalización basadas en unidades:

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

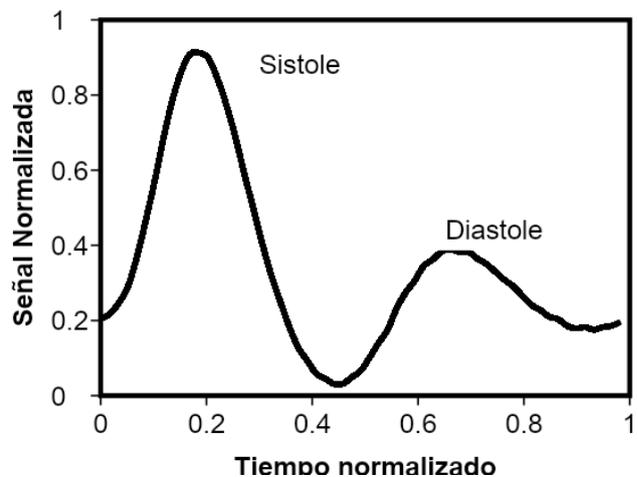
Dando a X el valor obtenido en los datos por cada paciente,  $X_{min}$  el valor mínimo de todos los datos y  $X_{max}$  el valor máximo de los datos, presentando la señal de pulso normalizada:



**Figura 3. Data normalizada relación señal pulso vs tiempo**

Posteriormente, se procedió a fraccionar la señal como lo representa la anterior gráfica y sus líneas de separación (Líneas en rojo) con el fin de promediar estos datos separados y obtener como señal resultante y ya normalizada como se observa en la figura 4.

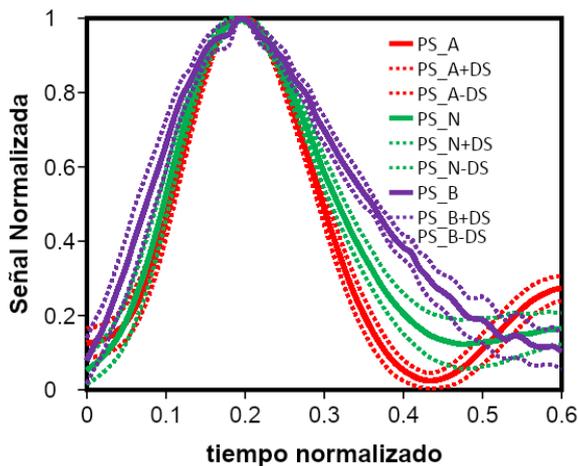
**Figura 4. Patrón de pulso seleccionado para el análisis**



### III. RESULTADOS

Se procedió a tomar todos los datos de los pacientes y dividirlos en aquellos pacientes con Presión Sistólica Alta (PS\_A), Presión Sistólica Normal (PS\_N) y Presión Sistólica Baja (PS\_B), en donde se observa que la onda de las presiones sistólicas alta, normal y baja inician su impulso de señal de normalización de 0,1 y llegan a coincidir con un aumento de las ondas de

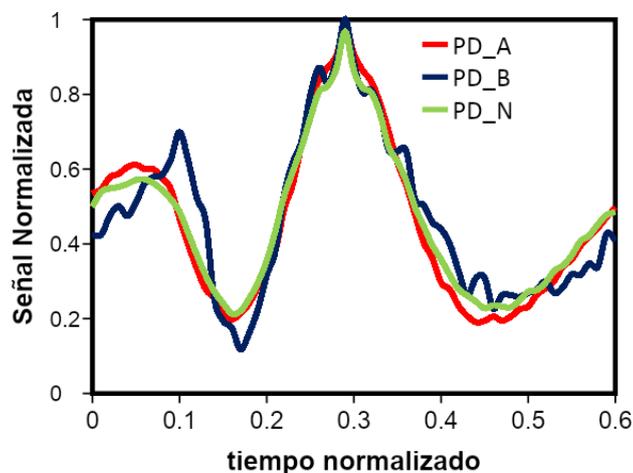
impulso con una señal de normalización de 1, un tiempo normalizado máximo de 0,2 y una disminución de la onda manteniéndose las presiones sistólicas en un tiempo normalizado de 0,6 a cada uno de estos pacientes ya categorizados en PS\_A, PS\_N y PS\_B se les promediaron sus respectivos datos, dando como resultado tres tipos de gráficas representadas por colores distintos como se presenta en la siguiente figura:



**Figura 5. Perfil promedio de pulso cardíaco sistólico.**

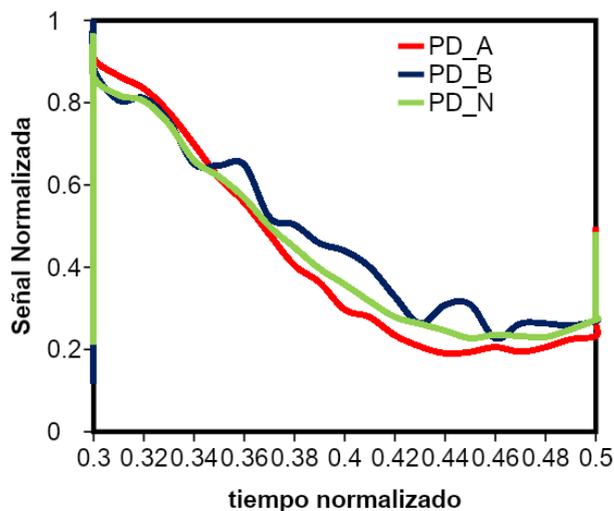
Donde cada línea punteada de acuerdo a su color representativo equivale a la Desviación estándar de cada tipo de presión.

Además, se evidencia el marcado decaimiento en la caída de la pendiente de pulso para cada una de las presiones, el cual es mayor en la presión sistólica alta (línea roja), en comparación con la presión sistólica más baja (línea violeta), es decir que a mayor presión, aumenta la rapidez de la caída de la onda de pulso.



**Figura 6. Perfil promedio de pulso cardíaco diastólico.**

Por otro lado, se evidencia la secuencia entre las presiones diastólicas, en las que se observa que casi todas las presiones diastólicas llegan a una señal normalizada de 0,9 y un tiempo normalizado de 0,3 en el que no se logra diferenciar con precisión. En el caso de las presiones diastólicas, no hubo una marcada variación entre los valores, los cuales se mantenían cerca del valor normal, por lo tanto, el decaimiento de la onda de pulso no se vio afectado de la misma manera que en las presiones sistólicas.



**Figura 7. Diferenciación entre las presiones diastólicas.**

## V. CONCLUSIÓN

Es de gran importancia para el sistema de salud la relevancia que tiene la variación de los hábitos de vida, la prevención de enfermedades y los instrumentos necesarios para la detección oportuna del aumento de las cifras de la presión arterial. En la actualidad existe una multitud de dispositivos portátiles para la medición de la presión arterial que son de fácil alcance para las personas y sencillos de usar para que él mismo pueda conseguir sus propios niveles, y así controlar la hipertensión desde la comodidad de su hogar; pero no se ha creado un sistema simple, pequeño e integral, como el algoritmo desarrollado en la plataforma Arduino con la adaptación de un sensor de pulso diseñado por el laboratorio de prototipado (MacondoLab) de la Universidad Simón Bolívar.

Esto apoya la teoría mencionada al inicio en donde este proyecto buscó conocer y describir la relación existente entre el perfil de la onda del pulso cardíaco y la presión arterial a través de un sistema digital de monitoreo de pulsaciones por minuto, teniendo en cuenta variables sociales sobre la frecuencia cardíaca.

A pesar de no contar con la población inicialmente prevista por ciertas razones como no cumplir con los criterios de inclusión y también por la pandemia COVID-19 que ha afectado al mundo entero, el grupo de población que hasta el momento teníamos fue suficiente para iniciar a analizar los datos con los parámetros que inicialmente fueron previstos, es decir se evidencio que el dispositivo cumplió uno de los objetivos que fue monitorizar las pulsaciones por minuto adaptarlos a un software y comparara con la presión arterial tomada con los instrumentos convencionales. Si bien es cierto, es un dispositivo muy útil el cual puede adquirir con un poco más de precisión en la presión sistólica que la diastólica, por lo tanto, seguiremos trabajando para mejorar la sensibilidad del dispositivo.

2. Kasper, D., & Harrison. (2016). Principios de medicina interna. Mexico D.F.: McGraw-Hill Educación.
3. OMS, Información general sobre la hipertensión en el mundo, 2013 Organización Mundial de la Salud
4. Ministerio de Salud, Día mundial de la hipertensión arterial, Ficha técnica, Mayo 17 de 2017, Colombia
5. S. Moreno, A. Quintero, C. Ochoa, M. Bonfante, R. Villareal and J. Pestana, "Remote monitoring system of vital signs for triage and detection of anomalous patient states in the emergency room," 2016 XXI Symposium on Signal Processing, Images and Artificial Vision (STSIVA), Bucaramanga, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/STSIVA.2016.7743353.
6. [https://es.wikipedia.org/wiki/Normalizaci%C3%B3n\\_\(estad%C3%ADstica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Normalizaci%C3%B3n_(estad%C3%ADstica))

## Referencias

1. Rubio-Guerra AF. Nuevas guías del American College of Cardiology/American Heart Association Hypertension para el tratamiento de la hipertensión. ¿Un salto en la dirección correcta? Med Int Méx. 2018 mar;34(2):299-303. DOI: <https://doi.org/10.24245/mim.v34i2.2015>

## VI. MATERIAL SUPLEMENTARIO

## CONSENTIMIENTO INFORMADO

Este Formulario de Consentimiento Informado se dirige a pacientes sanos, con o sin factores de riesgo y con enfermedad cardiovascular.

Duración de la investigación:

No revelaremos la identidad de quienes acepten participar en la investigación. La información que recojamos se mantendrá confidencial. Usted no tiene por qué participar en esta investigación si no desea hacerlo y el negarse a participar no le afectará en ninguna forma. Puede dejar de participar en la investigación en cualquier momento que desee.

Si tiene cualquier pregunta puede hacerlas ahora o más tarde, incluso después de haberse iniciado el estudio.

*"He sido invitado a participar en la investigación de un nuevo dispositivo para controlar la presión arterial. Entiendo que se me hará un control de seguimiento de presión arterial. He sido informado de que los riesgos son nulos".*

*"He recibido la información. Me han dado la oportunidad de preguntar acerca de la investigación y me han respondido las preguntas que he realizado. Acepto de manera voluntaria participar en esta investigación y entiendo que tengo el derecho de retirarme de la investigación en el momento que desee".*

Nombre del participante

\_\_\_\_\_

Firma del Participante

\_\_\_\_\_

Fecha

\_\_\_\_\_

## ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE EL PERFIL DE LA ONDA DEL PULSO CARDIACO Y LA PRESIÓN ARTERIAL A TRAVÉS DE UN SISTEMA DIGITAL DE MONITOREO DE PULSACIONES POR MINUTOS

Lea detenidamente cada una de las preguntas y por favor conteste con la mayor sinceridad posible, esta encuesta es confidencial y sus respuestas serán la base principal para la elaboración de este proyecto. Señale con una X sólo una respuesta de su preferencia en el paréntesis correspondiente.

Edad: \_\_\_\_\_

Altura (cm): \_\_\_\_\_

Peso: \_\_\_\_\_

¿Usted fuma?

Sí ( ) No ( )

¿Cuántos cigarrillos fuma normalmente en el día?

a) Entre 2 y 3      b) de 4 a 6      c) de 7-10      d) Más de un paquete

¿Ha sentido palpitaciones comúnmente?

Sí ( )      NO ( )      En ocasiones ( )

Se considera usted una persona:

Sedentaria ( ) activa ( )

¿Realiza actividad física durante la semana?

Nunca ( ) A veces ( ) Casi siempre ( ) Siempre ( )

¿Qué clase de actividad física realiza usted durante la semana?

Caminar ( ) ir al gimnasio ( ) Correr ( ) ninguna ( )

¿En relación a su respuesta anterior con qué frecuencia la realiza?

Todos los días ( ) pasando un día ( ) rara vez ( )

¿Se alimenta adecuadamente?

A) Sí      b) NO

¿Con que frecuencia chequea usted su presión arterial?

A) Usualmente      B) ocasionalmente      C) pocas veces      D) Nunca

¿Consume comidas rápidas?

A) Constantemente      B) moderadamente      C) Muy poco      D) Pocas veces

¿Consume alcohol?

A) Siempre      B) socialmente      C) Casos especiales      D) Nunca

¿Consumo de drogas?

Sí ( )      No ( )      Cual: \_\_\_\_\_

¿Cada cuánto la consume? ( Omita esta pregunta si la anterior fue No)

A) Diario      B) Semanalmente      C) Quincenalmente      D) mensual

E) En ocasiones (Diga cada cuanto): \_\_\_\_\_

¿Sufre usted de alguna enfermedad?

Sí ( ) NO ( )

Cual? \_\_\_\_\_

¿Qué medicamentos consume?

\_\_\_\_\_

En su familia (abuelos, padres, tíos, hermanos, abuelos), ¿alguien padece de alguna de las siguientes enfermedades?

- Hipertensión arterial
- Diabetes



- Colesterol
- Obesidad – Sobrepeso
- Apnea del sueño

Agradezco a Usted por su colaboración, sus respuestas servirán para enriquecer nuestra investigación.