

Wearable device for stress detection

Diana Cerdas

Academic Area of Mechatronics Engineering

Tecnológico de Costa Rica

Cartago, Costa Rica

diana@estudiantec.cr

Abstract—In this article, an open source wearable device for monitoring stress level in people is presented. The objective of this research is to apply the Heart Rate Variability method to measure stress and implement it in a physical device that provides information to the user in real time. To achieve this, a study subject was subjected to various tests where three biological signals were measured: heart rate (BPM), heart rate variability (HRV) and body temperature. Then, based on the data analysis, the value ranges were defined to classify stress into three levels: low, moderate or severe. Finally, this project was designed to empower people to manage their emotional well-being effectively.

Index Terms—stress, wearable, BPM, HRV, RMSSD

I. INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más impulsado por la tecnología, en el cual la innovación y la conectividad se han vuelto primordiales, los dispositivos portátiles o "wearables" se han convertido en herramientas poderosas que se integran a la perfección en las actividades diarias de las personas. Estos dispositivos, que van desde relojes inteligentes y rastreadores de actividad física hasta gafas de realidad aumentada y sensores médicos, han revolucionado la forma en que la sociedad interactúa con la tecnología.

El ámbito de la atención médica y el bienestar personal es una de las áreas donde este tipo de tecnología ha causado un impacto significativo, ya que la mayoría de los dispositivos existentes en el mercado tienen la capacidad de monitorear los signos vitales, registrar la cantidad de actividad física diaria e incluso detectar anomalías. Esto permite que las personas puedan administrar de manera proactiva su salud y bienestar, gracias al monitoreo continuo y la retroalimentación instantánea, haciendo que los usuarios sean capaces de tomar decisiones informadas sobre su estilo de vida y lo que genera mejores resultados a su salud.

En este caso, se busca crear un dispositivo portátil, de bajo costo y de hardware libre, que sea capaz de rastrear el nivel de estrés en una persona. Entonces, el principal problema que se tiene es cómo medir los diferentes niveles de estrés en un ser humano. Para esto, primero es importante destacar que el estrés es diferente para todos, es decir, lo que puede resultar sumamente estresante y tedioso para una persona, para otra no representa mayor complejidad. Por lo que es una variable que resulta difícil de determinar y de medir. Sin embargo, se ha evidenciado que la respuesta del cuerpo humano ante dichos estímulos suele ser muy similar; causando por lo general, un aumento en el ritmo cardíaco y la presión arterial, tensión

muscular, aceleración en la respiración, así como una serie de patrones de actividad cerebral [1].

A partir de esta información, se han desarrollado diversos métodos para medir el nivel de estrés, como por ejemplo: la medición de ondas cerebrales por medio de la electroencefalografía (EEG, por sus siglas en inglés), las pruebas hormonales que miden el nivel de cortisol en la orina o la sangre y el análisis de la variabilidad cardíaca (HRV, por sus siglas en inglés) [1]. Este último se ha popularizado en los últimos años gracias a la industria de los dispositivos vestibles, pues, se destaca por ser menos invasivo y por su tecnología compacta que hace que no afecte las actividades diarias de las personas.

Para el proyecto propuesto se va a medir la frecuencia cardíaca, la variabilidad cardíaca y la temperatura corporal, que son parámetros indicativos de estrés [2]. Entonces, primero es necesario conocer el comportamiento de dichas variables ante condiciones normales y bajo situaciones que generan estrés.

A. Comportamiento de la frecuencia cardíaca en situaciones de estrés

La frecuencia cardíaca se define como el número de latidos sucedidos en un período de 1 minuto. Usualmente se hace referencia a esta variable como BPM (por sus siglas en inglés de latidos por minuto). Para un adulto promedio en reposo la frecuencia cardíaca varía entre los 60 y 100 BPM [3]. Por otra parte, en el estudio [4], aplicaron una prueba de estrés de habla (speech task stress) a personas entre 25 y 33 años. En este obtuvieron que el promedio de la frecuencia cardíaca durante la prueba de estrés fue de $(87,4 \pm 15,32)$ BPM, mientras que el valor promedio base (estado de reposo) fue de $(74,2 \pm 9,46)$ BPM. Con lo que se infiere que puede existir un incremento en la frecuencia cardíaca debido al estrés.

Es vital recalcar que el valor de los latidos por minuto en una persona puede ser afectado por parámetros como: la edad, el nivel de condición física, si se trata de una persona fumadora, si tiene enfermedades cardiovasculares, colesterol alto o diabetes, la temperatura del aire, la posición del cuerpo, las emociones, el tamaño del cuerpo y también del consumo de ciertos medicamentos. Esto explica el amplio rango de normalidad y también indica que este es un valor que tiene un peso intermedio en el cálculo del estrés, puesto que existen una gran cantidad de factores externos que pueden alterar su valor.

B. Comportamiento de la variabilidad cardiaca (HRV) en situaciones de estrés

La variabilidad cardiaca es la fluctuación de la duración de los intervalos de los latidos del corazón [5]. Existen múltiples formas de obtener la variabilidad cardiaca, principalmente hay cuatro grandes ramas: el dominio del tiempo, el dominio de la frecuencia, métodos geométricos y métodos estadísticos. En este caso, se va a profundizar en los métodos del dominio del tiempo. Para la mayoría de estas mediciones se utiliza el tiempo NN, este es el tiempo transcurrido entre dos latidos. En el cuadro I se muestran las formas más comunes de medir el HRV. En este caso, se va a utilizar el método RMSSD.

TABLE I
MÉTODOS PARA MEDIR LA VARIABILIDAD CARDIACA (HRV) EN EL
DOMINIO DEL TIEMPO. FUENTE [5]

Método	Unidad	Descripción
SDNN	ms	Desviación estándar de los tiempos NN
SDANN	ms	Desviación estándar de los promedios de los tiempos NN
RMSSD	ms	La raíz de la media de la suma de los cuadrados de las diferencias entre intervalos NN adyacentes
SDSD	ms	Desviación estándar de las diferencias entre intervalos NN adyacentes
NN50	-	Número de pares de intervalos NN adyacentes que difieren en más de 50 ms en todo el registro
pNN50	%	NN50 dividido entre el número total de intervalos de tiempo NN

La variabilidad cardiaca es el valor que tiene un mayor peso a la hora de determinar el estrés en las personas. Los valores altos de HRV indican poco estrés, por otra parte, la reducción de este valor indica más bien un incremento en el nivel de estrés [2]. Para hombres entre los 18 y 29 años la variabilidad cardiaca RMSSD promedio es de 58,506 ms [6]. Por otro lado, en la investigación [7] se obtuvo que el valor de la mediana de HRV (RMSSD) en hombres es 46,800 ms. Además, realizaron pruebas de estrés en las cuales obtuvieron valores de medianas de HRV para diversas condiciones de estrés, según se muestra a continuación:

- Estrés moderado: RMSSD = 59,50 ms.
- Estrés alto: RMSSD = 33,55 ms.
- Estrés severo: RMSSD = 24.60 ms.

C. Comportamiento de la temperatura corporal en situaciones de estrés

Con base en el estudio [8], los cambios en la temperatura de la piel debido al estrés varían según la zona donde se mida. Es por ello que realizaron diversas pruebas, de las cuales concluyeron lo siguiente:

- En la punta de los dedos la temperatura se reducía con el tiempo al estar expuestos a una situación de estrés, pero que esta tendencia se estabilizaba luego de 15 minutos.
- En la base del dedo la temperatura también se reducía con el tiempo ante situaciones de estrés, pero no de manera tan significativa como en la punta del dedo, e igual se estabilizaba luego de los 15 minutos.

- En la palma de la mano, la muñeca y la parte alta del brazo no se observaron cambios significativos en la temperatura debido al estrés.
- En el cuello se observó un aumento significativo de la temperatura debido al estrés e independiente al tiempo.

Además, cabe resaltar que el estrés afecta las variables en estudio de manera similar que lo hace el ejercicio, por lo que se requiere diferenciarlos. Para esto se acudió al estudio [9], en el cual investigaron sobre la relación del HRV, y los BPM durante el ejercicio. En este obtuvieron que en reposo el valor de los latidos por minuto era de 88 BPM y después del ejercicio era de 97 BPM. Luego, para la variabilidad cardiaca (RMSSD) antes del ejercicio obtuvieron: 26,1 ms y después del ejercicio el valor era de 16,0 ms. Finalmente, durante o después del ejercicio la temperatura corporal puede incrementar hasta en 3°C. Por lo que una alta frecuencia cardiaca junto con una baja variabilidad cardiaca y un leve incremento de la temperatura indica que la persona está haciendo ejercicio.

II. METODOLOGÍA

La metodología seguida para realizar este proyecto se dividió en tres grandes etapas: la creación del dispositivo, la realización de pruebas con un sujeto de estudio y la determinación de los rangos de valores que indican distintos niveles de estrés. Estas se van a explicar a continuación:

A. Diseño y desarrollo del dispositivo

En esta etapa se utilizó un enfoque iterativo y se subdividió en tres niveles.

- Diseño del hardware: el principal objetivo era crear un dispositivo compacto, ligero, portátil y de bajo costo. Entonces, se comenzó por la selección de los componentes a utilizar, para esto se tomaron en cuenta aspectos como el costo, disponibilidad en el país y tamaño. Después, se procedió con el diseño de la carcasa y la disposición de los componentes dentro de ella.
- Diseño del software: se desarrolló el algoritmo del dispositivo, el cual toma los datos de los sensores y los procesa para obtener las tres variables de estudio: la frecuencia cardiaca, la variabilidad cardiaca y la temperatura corporal. Además los muestra en la pantalla LCD del dispositivo.
- Calibración: se realizaron pruebas preliminares para calibrar los sensores y ajustar los umbrales utilizados en el programa. Los valores de frecuencia cardiaca y temperatura se verificaron también utilizando dispositivos comerciales, de modo que el error fuera lo más bajo posible.

B. Pruebas con un sujeto de estudio

Para lograr definir las condiciones que deben cumplir las variables para indicar el nivel de estrés, se realizó un estudio piloto con un sujeto de prueba siguiendo los siguientes pasos:

- Selección del sujeto de prueba: se reclutó un participante de género masculino, de 21 años y sin historial médico significativo.

- Procedimiento de Prueba: para esta parte se definieron diversas actividades que generaran diferentes reacciones en el sujeto de estudio. Cabe resaltar que para cada una de las actividades propuestas se realizaron 3 pruebas diferentes, con una duración de aproximadamente 5 minutos. Además, se realizaron en un ambiente controlado, en el cual, el sujeto de pruebas únicamente estaba realizando la actividad descrita, de tal manera que se evite tener un sesgo en los resultados a causa de agentes externos.
- Recopilación de datos: durante las pruebas el sujeto de estudio portaba el dispositivo creado y por medio de los sensores, se obtuvieron los valores en tiempo real de la frecuencia cardiaca, la variabilidad cardiaca y la temperatura corporal.

C. Análisis de los datos

Una vez finalizadas las pruebas, se procesaron todos los datos recopilados por medio de un archivo de Excel. Entonces, con base en los resultados obtenidos y la investigación teórica realizada, se definieron los parámetros de las tres variables medidas que indican: un nivel de estrés bajo, un nivel moderado y un nivel severo.

III. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Para este proyecto se necesitaba crear un dispositivo portátil que fuera capaz de determinar el nivel de estrés en las personas. En la figura 1 se ilustra el dispositivo diseñado. Cabe resaltar que el sensor cardiaco sale de la carcasa con un cable y se coloca en algún dedo del usuario por medio del soporte mostrado en la figura 8 de los anexos, además, en la tabla III de los anexos se muestran los componentes específicos utilizados.



Fig. 1. Diseño del dispositivo portátil para la detección de estrés.

Luego, para la implementación física del dispositivo se generó el diagrama de bloques que se muestra en la figura 2. Acá se muestra la forma en que se interconectaron los diferentes componentes en el prototipo real. Como se puede observar, se tiene una fuente de alimentación y un interruptor que controlan los estados de encendido y apagado de todos los elementos del sistema. Luego, también se tienen los bloques de los sensores, los cuales le envían las mediciones, en forma de tensión, a un microcontrolador. Este se encarga de analizar e interpretar las señales analógicas recibidas para así extraer los

valores de la temperatura corporal, la frecuencia cardiaca, la variabilidad cardiaca y el nivel de estrés. Una vez procesados los datos, el microcontrolador le envía los resultados a la pantalla para que el usuario tenga acceso a ellos en tiempo real. En la figura 9 de los anexos se muestra un diagrama esquemático de la conexión detallada de los componentes así como algunos aspectos importantes al respecto.

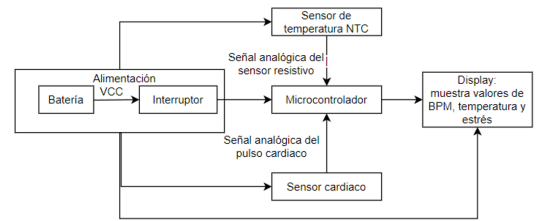


Fig. 2. Diagrama de bloques para el circuito electrónico del dispositivo.

Por otro lado, para la implementación del software se utilizó el IDE de Arduino. En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo de la lógica que se utilizó en general para tomar los datos y mostrar en pantalla los resultados. Luego, la figura 4 representa la lógica seguida para analizar las entradas analógicas de los sensores y convertirlas en los valores deseados: la temperatura corporal, la frecuencia y variabilidad cardiaca y el estrés.

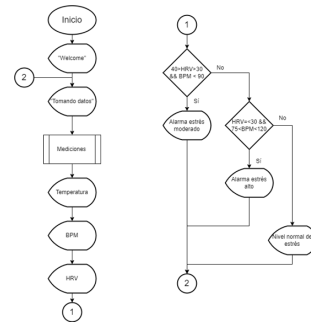


Fig. 3. Diagrama de flujo general para la toma de datos y mostrar resultados en la pantalla.

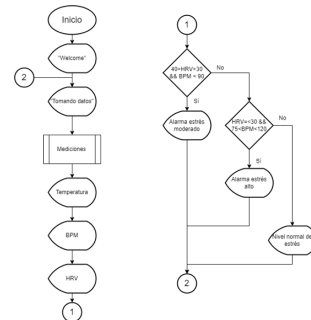


Fig. 4. Diagrama de flujo de la lógica utilizada para la interpretación de los datos de los sensores.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

De acuerdo con la metodología, se realizaron una serie de pruebas a un sujeto de estudio, en ellas, el sujeto portaba el dispositivo creado por un período de 5 minutos aproximadamente. Luego, todos los datos recolectados se procesaron en un documento de Excel y los resultados obtenidos se muestran en la tabla II.

TABLE II

VALORES EXPERIMENTALES A DIFERENTES ACTIVIDADES QUE ALTEREN EL ESTRÉS TOMADOS CON EL DISPOSITIVO DISEÑADO.

Actividad	BPM	HRV (ms)	Temperatura (°C)
Reposo	84.3 ±7.2	44.4 ±23.8	33.9 ±0.5
Partida de ajedrez	82.1 ±8.1	62.5 ±17.5	34.1 ±0.4
Escuchar un sonido irritante con audífonos	88.3 ±5.0	27.7 ±10.0	33.5 ±0.2
Ejercicio cardiovascular	117.0 ±7.2	18.9 ±16.3	32.2 ±0.9
Durante una clase	79.1 ±7.5	26.4 ±14.1	32.0 ±0.5

En los gráficos de barras de las figuras 5, 6 y 5 se muestra una comparación de los valores obtenidos según la actividad realizada.

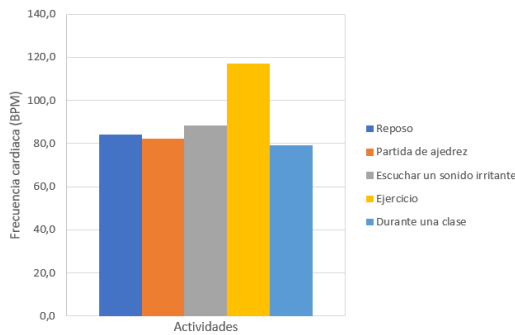


Fig. 5. Valores de frecuencia cardiaca de acuerdo a la actividad realizada.

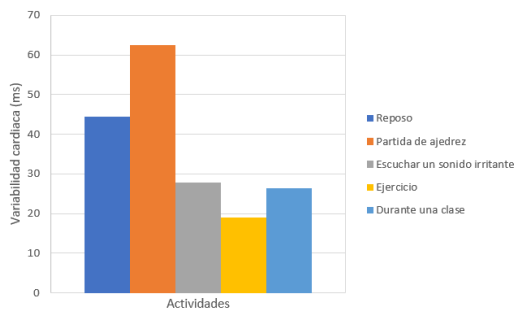


Fig. 6. Valores de variabilidad cardiaca de acuerdo a la actividad realizada.

V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En esta sección se va a realizar un análisis de los resultados obtenidos, además se van a comentar algunos detalles o retos

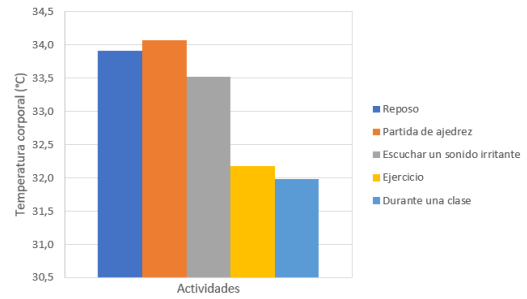


Fig. 7. Valores de temperatura corporal de acuerdo a la actividad realizada.

que se tuvieron a la hora de realizar la implementación y cómo estos podrían alterar los resultados obtenidos.

En primera instancia, previo a la etapa de toma de datos, fue necesario realizar una extensa experimentación para poder definir los parámetros de umbral utilizados para procesar la señal cardiaca (la frecuencia y variabilidad cardiaca). Estos valores umbrales son de vital importancia para la correcta operación del dispositivo, pues cada individuo por naturaleza tiene patrones distintos en sus variables biológicas. Además, esto hizo que el proceso de calibración fuera más sencillo, ya que al encontrar los valores umbrales de una persona, se asegura que se detecten correctamente las señales en estudio y que se reduzca el porcentaje de error en las mediciones.

En cuanto a los resultados mostrados en el cuadro II, en general se puede notar que las variables medidas cambian su valor según la actividad realizada. Si se observa la figura 5, se puede notar que para el sujeto en estudio, el valor de frecuencia cardiaca en reposo tiene un valor promedio de 84,3 BPM (latidos por minuto), el cual está dentro de los parámetros que se consideran normales para un hombre promedio [3].

Por otro lado, si se compara el valor obtenido en estado de reposo con las demás actividades, se puede notar que el cambio más significativo se da con el ejercicio, pues su valor aumentó a 117 BPM, pero esto es una reacción completamente normal del cuerpo [9]. Por otro lado, se nota que el escuchar con audífonos un sonido irritante también elevó el valor a 88,3 BPM; mientras que jugar una partida de ajedrez y recibir una clase más bien redujeron su valor pero no significativamente.

Luego, para la variabilidad cardiaca (RMSSD) se tiene la figura 6, acá se puede notar que durante el reposo, el valor promedio fue de 44,4 ms. También, se puede notar que sí se cumple el comportamiento establecido por la teoría, pues tareas que pueden ser estresantes como la de escuchar un sonido irritante, hacer ejercicio o recibir una clase, decrementaron el valor de la variabilidad cardiaca [2]. Por otro lado, el único caso en el que más bien aumentó la variabilidad cardiaca fue durante la partida de ajedrez, en este caso, el sujeto de estudio tiene el pasatiempo de jugar ajedrez, por lo que para él esto no presenta complicación alguna y de hecho más bien se puede inferir que esta es una actividad que hace que se relaje.

Ahora, para hacer la diferencia entre el estrés mental y el estrés físico, es decir, el ejercicio, se puede notar que la diferencia se da en la frecuencia cardiaca, ya que esta se eleva

a más de 110 BPM. En contraste, la variabilidad cardiaca se reduce, comportándose de igual manera que en el estrés mental.

En cuanto a los resultados de temperatura corporal, no se observó ningún cambio relevante en la temperatura antes y después de realizar las actividades. Esto se debe al punto donde se midió, ya que de acuerdo al estudio teórico en la palma de la mano, la muñeca y la parte alta del brazo no ocurren cambios de temperatura significativos debido al estrés [8]. Es por ello que se recomienda cambiar el punto de medición a la punta del dedo junto con el sensor cardiaco. También, en caso de que se realice este cambio se tiene que extender la duración de las pruebas, pues este cambio conlleva un tiempo para estabilizarse [8].

Además, las variaciones mostradas en la figura 7, se puede afirmar que están relacionadas con el cambio de temperatura durante el día, pues estas pruebas se realizaron durante diferentes horas y días.

Entonces, con base a los resultados discutidos y la investigación realizada, se definieron tres escenarios de estrés con los que se estableció el comportamiento del dispositivo. El primero sería un nivel de estrés bajo, el cual se concluye cuando se detectan valores menores a 85 BPM y una variabilidad cardiaca mayor a 40ms. Después, el escenario de estrés moderado se presenta cuando los latidos por minutos están en el rango entre 70 y 90, mientras que la variabilidad cardiaca se encuentra entre 40 y 30 ms. Seguidamente, se detecta estrés severo si los latidos por minuto se encuentran entre 75 y 110 y la variabilidad cardiaca menor a 30 ms. Finalmente, cuando los latidos por minuto son mayores a 110 BPM, la variabilidad cardiaca es menor que 30 ms, indica que la persona está haciendo actividad física y que por tanto no se toma como estrés.

Estos valores se definieron al contrastar los valores obtenidos de manera experimental y la teoría recopilada, por ejemplo, para los latidos por minuto se contrastaron los resultados con las experimentaciones realizadas por el Dr. Laskowski [3] en el cuál se presentaron rangos amplios para casos en los que se presentara reposo o estrés. Como se mencionó anteriormente, estos rasgos son amplios porque dependen de factores individuales. El rango de frecuencia cardiaca definido para estrés bajo o moderado calza con el reportado para reposo ($74,2 \pm 9,46$ BPM), mientras que el escenario de estrés alto también coincide con el rango reportado para el caso de estrés ($87,40 \pm 15,32$ BPM) [3].

Por otro lado, en lo que respecta a la variabilidad cardiaca, se puede notar que los rangos definidos a partir de los resultados experimentales se ajustan a los que se obtuvieron en [7]. El dispositivo diseñado detecta estrés alto o severo cuando el valor de la variabilidad cardiaca es menor que 30 ms, mientras que el estudio [7] obtuvo una mediana de 24,60 ms para este mismo caso, por lo que se encuentra dentro del rango definido. Lo mismo se cumple para los niveles de estrés bajo y moderado; para el primero se tiene un HRV mayor que 40 ms y la mediana reportada por la teoría fue de 59.50 ms, mientras que para el estrés moderado se definió entre 40 ms

y 30 ms y la mediana obtenida en el estudio fue de 33.55 ms.

Finalmente, es vital recordar que el estrés es un concepto subjetivo que se ve de diferentes maneras en las personas, por lo que en realidad no hay una forma de determinar que el dispositivo creado es completamente eficiente en la detección del estrés. La razón de esto es que el método implementado para la solución depende de signos vitales en las personas y existen un sin número de factores externos como: enfermedades, edad, condición física, hábitos, la alimentación, entre muchos otros más, que pueden alterar las variables medidas y por ende los resultados.

CONCLUSIONES

- Se logró implementar un circuito electrónico de hardware libre que es capaz de medir la temperatura corporal, la frecuencia y la variabilidad cardiaca por medio de sensores comerciales.
- A partir de varias pruebas y del análisis de datos se obtuvo una relación válida entre las variables medidas y el nivel de estrés de un sujeto de estudio.
- Se concluye que la diferencia entre un estado de estrés y de actividad física (ejercicio) está principalmente en la frecuencia cardiaca y la temperatura corporal.
- Los resultados obtenidos en este informe no se pueden generalizar para una población, ya que las variables cardiacas como la frecuencia y la variabilidad se ven alteradas por una gran variedad de factores externos y por ende el estrés también podría alterar estas variables de una forma diferente.

REFERENCES

- [1] Healthline (S. Ferguson), "How Can You Measure Stress?", 2022. [Online]. Available: <https://www.healthline.com/health/stress/stress-measurement>. [Accessed Aug. 10, 2023].
- [2] Cleveland Clinic, "Heart Rate Variability (HRV)", Cleveland Clinic. [Online]. Available: <https://my.clevelandclinic.org/health/symptoms/21773-heart-rate-variability-hrv> (accessed May. 31, 2023).
- [3] E. R. Laskowski, "¿Cuál es la frecuencia cardíaca normal en reposo?", Mayo Clinic. [Online]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es-es/healthy-lifestyle/fitness/expert-answers/heart-rate/faq-20057979> (accessed May. 31, 2023).
- [4] C. Schubert, M. Lambertz, R. Nelesen, W. Bardwell, J.B. Choi, J.E. Dimsdale. Effects of stress on heart rate complexity—a comparison between short-term and chronic stress. *Biol Psychol.* 2009 Mar;80(3):325-32. doi: 10.1016/j.biopsycho.2008.11.005. Epub 2008 Dec 3. PMID: 19100813; PMCID: PMC2653595.
- [5] K. Hye-Geum, C. Eun-Jin, B. Dai-Seg, H. L. Young and K. Bon-Hoon, "Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature," Korean Neuropsychiatric Association, Daegu, 2018.
- [6] O. Gutiérrez. Variabilidad de la frecuencia cardíaca en individuos sanos costarricenses. *Revista Costarricense de Cardiología*, 2(1), 2-10. Retrieved June 01, 2023, from <http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S1409-41422000000100002&lng=en&tlng=es>.
- [7] P.P. Punita, K. Saranya, M. Chandrasekar and S. S. Kumar, "Gender difference in heart rate variability in medical students and association with the level of stress", *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, vol. 6, no. 5, pp. 431-437, 2016, doi: 10.5455/njppp.2016.6.0102325042016.
- [8] C. H. Vinkers, R. Penning, J. Hellhammer, J. C. Verster, J. H. G. M. Klaessens, B. Olivier and C. J. Kalkman, "The effect of stress on core and peripheral body temperature in humans", *The International Journal on the Biology of Stress*, vol. 16, no. 5, pp. 520-530, 2013, doi: 10.3109/10253890.2013.807243.

[9] O. F. Barak, D. G. Jakovljevic, J. Z. Popadic Gacesa, Z. B. Ovcin, D. A. Brodie and N. G. Grujic, “Heart rate variability before and after cycle exercise in relation to different body positions”, *Journal of sports science & medicine*, vol. 9, no. 2, pp. 176–182, 2010.

ANEXOS



Fig. 8. Soporte diseñado para colocar el sensor en el dedo del usuario.

TABLE III
LISTA DE COMPONENTES UTILIZADOS.

Componente	Nombre comercial
Sensor cardiaco	World Famous Electronics llc
Sensor de temperatura	NTC NTSA0104JZ084
Microcontrolador	Arduino Nano
Pantalla LCD	GC9A01
Baterías	Módulo de CR2025

A continuación, se muestra el diagrama esquemático de la conexión de los componentes del circuito.

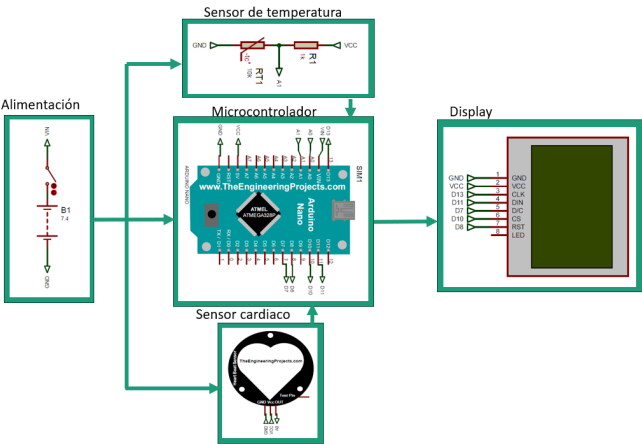


Fig. 9. Diagrama de conexiones de los elementos del circuito eléctrico diseñado.

Ahora, se van a mencionar algunos datos importantes sobre el esquemático de la figura 9. Para el sensor de temperatura se utilizó el método de divisor de tensión para obtener la

resistencia del NTC y con los parámetros de la hoja de datos se obtiene la temperatura. Así mismo, la resistencia del divisor de tensión fue calcula para controlar la corriente en el termistor y para que el rango de variación de la tensión, junto con la resolución de la ADC del Arduino puedan detectar cambios en la temperatura de 0.1 °C. También es importante resaltar que para el rango de temperaturas de operación (entre 30 °C y 42 °C aproximadamente), el sensor de temperatura seleccionado no va a presentar el efecto de auto-calentamiento, ya que la corriente se ve limitada y no excede el límite. En cuanto a la señal del sensor cardiaco, esta es procesada directamente con el microcontrolador, por lo que no requiere de otros componentes adicionales. Por último, para la comunicación entre el microcontrolador y la pantalla se utilizó el protocolo SPI, por lo que se utilizan los pines del Arduino que están preestablecidos (D11: MOSI, D13: SCK y D10: CS) y también se definen dos pines digitales adicionales como: D7: D/C y D8:Rst.