

MEDICIÓN DE ESTRÉS A PARTIR DE LA FRECUENCIA CARDÍACA Y LA RESPUESTA GALVÁNICA DE LA PIEL

Mario Alain González Rivera

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa
diamydo@gmail.com

Joel Ricardo Jiménez Cruz

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa
jcjr@xanum.uam.mx

Resumen

Debido a los altos índices de estrés en la sociedad moderna y las patologías que de él se derivan, es importante contar con medidas que especifiquen de manera confiable los niveles de estrés. En una población de estudiantes (mujeres y hombres entre 20 y 40 años) se encontrará cuál de las señales, Frecuencia Cardíaca (FC) e Impedancia Galvánica de la Piel (GSR), tiene mayor cambio de complejidad antes del estrés vs durante el proceso de estrés, de tal manera que se puedan identificar índices de ponderación respectivos a cada una de las dos señales. Tales índices de ponderación son importantes ya que se podrán utilizar para medir estrés de manera más objetiva a partir de un hardware que haga uso de estos índices. Se observa una diferencia entre género y nivel de estrés. El estrés se indujo por medio de ejercicios que ponen a prueba la habilidad de cálculo mental y la memoria. Se presentan las señales obtenidas durante la inducción de estrés y se comentan los métodos que se utilizarán para procesar las señales y obtener índices ponderativos que reflejen los cambios de complejidad de las señales fisiológicas en función del nivel de estrés.

Palabras Clave: ECG, Estrés, Entropía, GSR, SampEn.

1. Introducción

Debido a los altos índices de estrés en la sociedad moderna y las patologías que de él se derivan, el estudio científico del estrés ha ido en aumento y está orientado a tratar de monitorizar estos niveles de estrés. La medición del estrés tiene un carácter subjetivo, pues cada persona tiene una respuesta diferente, tanto psicológica como fisiológica, al mismo estresor [1].

En México, la Secretaria de Salud ha reportado que el 75% de los trabajadores mexicanos padecen estrés laboral, el cual provoca 25% de los 75 mil infartos que se presentan cada año en el país [2].

El estrés es la respuesta del cuerpo a condiciones externas que perturban el equilibrio físico y emocional de la persona. Es cualquier condición que perturba seriamente la homeostasis (equilibrio dinámico del cuerpo) fisiológica y psicológica y que el organismo percibe como nociva.

El nivel óptimo de estrés es diferente para cada persona, y por eso, sólo cada persona puede determinar qué es lo que le agrada y le hace bien o le perturba [2].

El estrés es uno de los mecanismos autónomos que permite al cuerpo humano adaptarse a las distintas exigencias del medio ambiente, pero la exposición frecuente y/o prolongada a él puede desencadenar o empeorar varias enfermedades como las cardiovasculares y las nerviosas e incluso, estudios recientes han mostrado que el estrés crónico conduce a daños a nivel de ADN. Este daño al ADN inducido por el estrés promueve el envejecimiento prematuro, abortos involuntarios y cáncer [3,4].

Existen dos tipos de estrés: el estrés agudo (eustrés) de poca duración, cuyos signos y síntomas desaparecen cuando el estresor (el estímulo que provoca estrés) termina, y el estrés crónico que aparece cuando el estresor es real o imaginario pero perdura y puede ser causante de patologías [5].

En episodios de estrés se presentan diversos síntomas, entre ellos; aumento en la Frecuencia Cardíaca, en los niveles de insulina, en el sudor de la piel (disminución de la resistencia eléctrica de la piel) y en la presión arterial; la sangre es desviada a los intestinos y a los músculos. Los vasos sanguíneos se ensanchan y las pupilas se dilatan.

Con el fin de medir la intensidad del episodio de estrés de manera objetiva se puede analizar la variabilidad de algunas señales fisiológicas, como: Frecuencia Cardíaca (FC), Resistencia Galvánica de la Piel (GSR), Temperatura Corporal (TC), Actividad muscular (EMG) y Concentración de las Hormonas Cortisol y Prolactina (CH). De éstas, la FC y la GSR son las señales biomédicas que resultan más afectadas por el estrés [3, 6, 8].

Para analizar los cambios de estas señales ante situaciones de estrés se pueden utilizar métodos de análisis estadísticos lineales y no lineales con el fin de revelar información importante y así determinar si una persona está estresada o no. Algunos de los métodos que se pueden ocupar son: Correlación D2, Puntos de Poncaire, Análisis de Fluctuación, Entropía Aproximada (ApEn) y Entropía Muestral (SampEn). En la revisión de la bibliografía se encontró que el método ApEn es uno de los métodos más apropiados para estimar el nivel de estrés en las personas [7, 8, 9], sin embargo, varios trabajos han mostrado que SampEn es uno de los mejores algoritmos para medir el nivel de estrés a través de la entropía de la señal; SampEn siempre estima un mayor valor de entropía cuando el proceso es más aleatorio [8, 10, 11].

En este trabajo se investiga la variabilidad de la FC y de la GSR en relación con un estrés inducido en el laboratorio a sujetos de prueba. Se analizan las características cuando los sujetos son sometidos al proceso de estrés y cuando se encuentran en reposo utilizando medidas estadísticas básicas. Se tiene el propósito, en el futuro, de identificar los niveles de estrés a partir de los índices entrópicos de estas señales fisiológicas utilizando el algoritmo SampEn.

Antecedentes

El estrés físico y mental provoca respuestas fisiológicas que están mediadas por el sistema nervioso autónomo. Los ajustes fisiológicos que hace el organismo en respuesta al evento estresante se ven reflejados en la modulación de las señales asociadas al estrés (FC, FR, EMG, TC, CH) por el sistema simpático. Este mecanismo fisiológico capacita al organismo para responder a una emergencia, bien sea luchando o huyendo de ella [4, 6].

La detección del estrés se puede realizar, además de procesamiento de señales biomédicas, a partir de sensores que miden la concentración de cortisol en saliva, el reconocimiento facial a partir de capturas de video que luego son procesadas por software o analizando patrones de voz que delatan estados de estrés [6].

En [5] se propone la construcción de un hardware para la medición de estrés a partir de una escala a la que llaman “Estrés-Bienestar” la cual depende del registro de las señales FR, EMG, GSR y de un test psicológico.

En [8] se hace un análisis comparativo de la FC por medio de algoritmos no lineales. Se evalúa el sistema cardiovascular en un grupo de estudiantes sanos sometidos a diversos tipos de estrés como el cálculo mental, la aritmética con exposición de ruido y bajo un examen académico. Se mostró que en sujetos jóvenes sanos, el estrés a corto plazo está asociado con disminuciones en la complejidad de la FC (disminución de la medida de entropía en la FC durante el estímulo estresante).

En [13] se buscó diferenciar el eustrés del estrés crónico a partir de la variabilidad de la FC. Se encontró que la variabilidad de la FC disminuyó en ambos casos reflejando una menor capacidad de adaptación y adecuación del marcapasos cardíaco que puede estar asociada con un fallo crónico de la FC. Estos resultados son consistentes con los hallados en [1], donde se encontró que la complejidad de la FC disminuía durante el estrés. En este trabajo se utilizó el algoritmo Autocorrelación D2 para analizar la variabilidad de la FC.

En [3] se analizó el estrés mientras una persona conducía un automóvil. Las señales que se registran son: FC, GSR, FR y EMG. Se detectó estrés a partir de las señales analizadas en 97% de los sujetos de prueba y los resultados muestran que la FC y GSR son las señales más correlacionadas con el nivel de estrés. En este trabajo se analizaron la variabilidad de las cuatro señales a partir de métodos Autocorrelativos.

En [8] se encontró que es posible detectar estados de estrés con un registro de tan sólo 10 segundos de las señales FC y GSR, lo cual es importante para medir estrés en tiempo real.

Las señales biomédicas son efectivas para diferenciar entre estados de tranquilidad y estados de estrés. De estas señales la GSR y la FC reflejan de mejor manera el proceso de estrés [3, 6, 9].

2. Desarrollo

Para evaluar el nivel de estrés a partir de las señales de FC y GSR considérese una función matemática de la forma $E = f(a, b)$ donde “a” y “b” son índices de ponderación respectivos a la GSR y a la FC. El propósito es obtener información mucho más precisa y adecuada al estado particular de cada sujeto que indique su nivel de estrés. La idea principal es particularizar la toma de los índices (“a”, “b”) para cada persona y no generalizar que el estrés es el mismo para todas las personas. Es decir se trata de tomar en cuenta, no sólo los factores externos que inciden y estimulan la generación de estrés en una persona, sino también su estado interno y personalidad particular. Se tiene conocimiento que la FC y la GSR tienen la tendencia a disminuir su complejidad durante un evento estresante [9, 14].

Con el fin de obtener el nivel del estrés de las señales de FC y GSR, en este trabajo se reporta la selección de los sujetos de prueba, la calibración de los equipos de adquisición, adquisición de las señales, presentación de las señales por medio de los equipos comerciales Biopac y una estadística inicial de los datos recabados por medio de Matlab.

El procedimiento que se realizó consistió en calibrar el equipo, tomar de los sujetos de prueba las señales en reposo y las correspondientes señales a un estrés inducido. Posteriormente se realizó una inspección visual de las señales obtenidas y un tratamiento estadístico inicial.

Selección de los sujetos de prueba

La muestra para realizar este experimento consistió en un grupo de 16 estudiantes universitarios (8 mujeres y 8 hombres) entre 20 y 40 años. En la selección de los sujetos se efectuó una revisión considerando los siguientes criterios de exclusión:

- Imposibilidad para la realización integral de las pruebas.
- Relato de problemas cardiorrespiratorios.
- Problemas visuales o auditivos sin corrección.
- Utilización de drogas que pudiesen comprometer las funciones cognitivas.
- En el caso de las mujeres, no estar bajo periodo de menstruación.

A los sujetos de prueba (los que no fueron excluidos) se les indicó que no ingirieran café, bebidas energéticas o alcohol una noche antes de la toma de las señales.

Pruebas para la inducción del estrés

Después de adquirir las señales en reposo, se les pidió a los individuos (parejas del mismo sexo) que comenzaran a jugar un videojuego por 20 minutos [15]. Este juego se trata de una burbuja a la cual hay que llevar hasta un hueco con una especie de trampolín con imán, si la burbuja toca algún borde o se cae, se pierde. La forma de jugarlo es muy sencilla, se dirige la burbuja sólo con el mouse y el objetivo es insertar la burbuja en el hueco. Este juego merece mucha concentración y paciencia, después de haber hecho varios intentos, la experiencia de jugarlo resulta desesperante. El propósito del juego es concentrar la atención de los individuos a una tarea específica (jugar), de manera que les resultará difícil comenzar a concentrarse en otra tarea cuando el cambio de éstas es súbito. Durante estos 20 minutos del video juego, los individuos seguían conectados al equipo Biopac, pero no se registraban las señales.

Después de los 20 minutos del videojuego, súbitamente se les pidió a los sujetos que pararan de jugar, que se miraran de frente (sin levantarse de la silla) y que comenzaran a recitar el abecedario de manera inversa. Justo en este momento se comenzó la adquisición de las señales por 10 minutos y de manera simultánea en los dos sujetos; uno de los sujetos comenzará por la letra “z”, y el otro sujeto dirá la siguiente letra, lo más rápido que pueda, es decir “y”. Así hasta llegar a la letra “a”. Los sujetos fueron “apresurados” para decir la letra que les correspondía con la intención de ejercer en ellos “presión” psicológica. Después de terminar esta

prueba se le pide al sujeto que dijo la letra “y” que pensara en el número 473 y que restara de él 7, en seguida el otro sujeto deberá de restar 7 a la cantidad resultante que el primer sujeto haya dicho (o sea, 466); Esto es, restas consecutivas e intercaladas de 7 en 7, iniciando en 473. En esta prueba se continuó “apresurando” a los sujetos.

A las personas que terminaron la prueba antes de los 10 minutos de adquisición, se les siguió haciendo preguntas, como, por ejemplo; ¿qué letra está antes (o después) de la “u”? ¿Cuánto es 228 menos (o más) 7?

El hecho de que se haga el test de inducción de estrés en parejas del mismo sexo estimula el sentido de competitividad y la premura por responder es desesperante, lo que resulta en que el estrés inducido sea más apegado a una situación real de estrés [16, 17].

Calibración del equipo

Con el fin de asegurarse de una adecuada adquisición de las señales se practicaron pruebas preliminares para ajustar parámetros de los equipos de GSR (EDA100C) y ECG (ECG100C) de Biopac® (figura 1) y el software de adquisición AcqKnowledge® como lo son; frecuencias de corte de los filtro pasa bajas (LP), pasa altas (HP), ganancias (GAIN), frecuencia de muestreo (fm) y tiempo de adquisición (ta). El módulo de GSR se necesita recalibrar antes de cada adquisición.



Figura 1 Los módulos de adquisición GSR (EDA100C) y ECG (ECG100C).

En la tabla 1 se especifican los parámetros de adquisición que se seleccionaron, con los que se configuraron los módulos de EDA100C y ECG100C. Los parámetros fm y tm se configuran desde el software de adquisición de AcqKnowledge®. El resto de los parámetros están indicados en la parte frontal de su respectivo módulo y se seleccionan con palancas que deslizan de arriba hacia abajo. Las unidades de la GSR están dadas en siemens (S).

Tabla 1 Parámetros de adquisición.

| GSR | | ECG | |
|------------|-------------|------|---------|
| GAIN | 2 μ S/V | GAIN | 1000 |
| LP | 10 Hz | MODE | NORM |
| HP-0.5 Hz | DC | LP | 150 Hz |
| HP-0.05 Hz | DC | HP | 0.05 Hz |
| fm | 250 Hz | fm | 1000 |
| tm | 10 min. | tm | 10 min. |

Se muestra el registro del par de señales GSR de un sujeto masculino (S1) antes (azul) y durante la inducción de estrés (rojo). Este par de señales fue tomado antes de calibrar el módulo EDA100C. Lo interesante de las gráficas es notar que a partir de los 10 usiemens la señal GSR se satura y no es posible registrar variaciones. Este efecto de saturación es debido a que no se calibró el rango dinámico del módulo (figura 2).

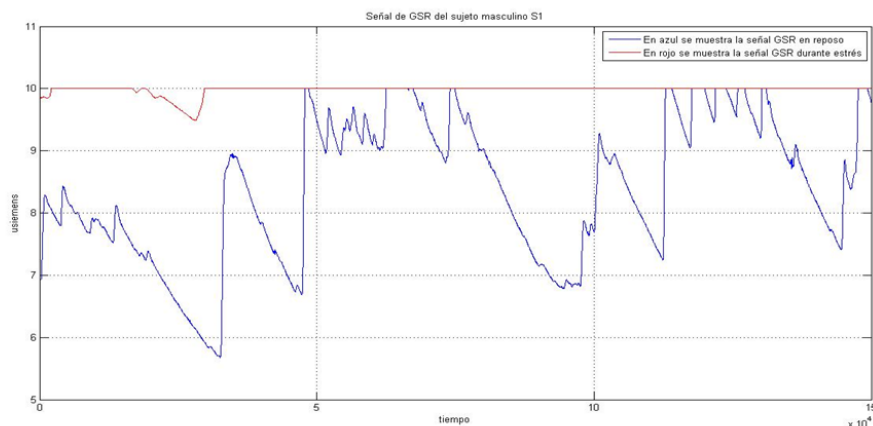


Figura 2 GSR antes (azul) y durante (rojo) la inducción de estrés sujeto masculino S1.

Adquisición de las señales de ECG y GSR

La adquisición de las señales se realizó en los laboratorios de docencia de Ingeniería Biomédica de la UAMI (Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa), donde se utilizó el sistema Biopac® para la adquisición y digitalización de las señales, y el software AcqKnowledge® para la visualización de las señales. Se tomaron precauciones para mantener condiciones similares en todas las señales adquiridas, las cuales fueron: realizar todas adquisiciones a la misma hora del día, se observó la condición física y respiratoria de los sujetos, las pruebas se realizaron con los sujetos sentados cómodamente y se permitió un tiempo de adaptación y aclimatación del medio ambiente (Laboratorio de docencia) de al menos 10 minutos durante los cuales se les explicaba brevemente a los sujetos de prueba dónde irían colocados los electrodos, el funcionamiento del Biopac, etc. y esto con motivo de relajar al sujeto.

La adquisición de las señales se realizó por parejas del mismo sexo, se les invitó a que tomaran asiento frente al equipo Biopac y después de unos 10 minutos de haberse aclimatado al ambiente de laboratorio, se les pidió que tomaran asiento frente al Biopac y se comenzaron a registrar las 2 señales (ECG y GSR) simultáneamente durante 10 minutos. Así se tomaron las señales en reposo a las 8 distintas parejas. Después de haber pasado los 10 primeros minutos de adquisición en reposo, se dejaron pasar 5 minutos y se les aplicaron pruebas de inducción de estrés simultáneamente a los dos sujetos. Las personas tenían la libertad de abortar el test de inducción de estrés en el momento que lo desearan. Se adquirió un par de sujetos por día.

A cada persona se le tomaron la FC y la GSR en reposo y durante el proceso de estrés inducido dando un total 64 señales distintas (4 señales por persona 16 personas). Se registró la derivación II del ECG para obtener una mayor amplitud en el pico R. Se usaron electrodos de dedo para la adquisición de la señal GSR y electrodos tipo parche desechable para el ECG.

Cuando la persona se encuentra en reposo se considera el estado basal desde el cual se comienza a medir la variación de las señales.

3. Resultados

En seguida se muestran algunas de las señales adquiridas durante el reposo y durante la inducción de estrés. Se grafican pares de señales en un mismo eje coordenado para facilitar una comparación visual. Además, para la visualización de la señal ECG es necesario hacer zoom en el tiempo de manera que se muestra un trozo de la señal, sumando un componente de DC para separar las señales y evitar que se encimen.

Las figuras 3 y 4 muestran el registro de las señales del sujeto masculino S11. La figura 3 muestra en azul los valores de la señal GSR en reposo y en rojo con inducción de estrés. En la figura 4 muestra el registro de las señales ECG, en rojo durante estrés donde se observa un aumento en la frecuencia cardiaca.

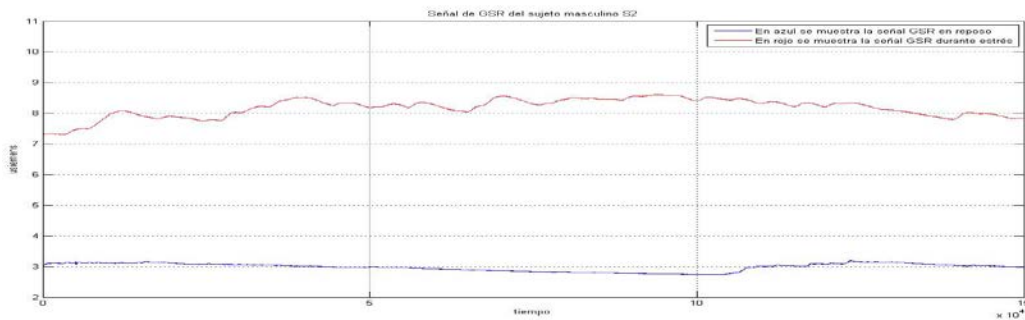


Figura 3 GSR antes (azul) y durante (rojo) la inducción de estrés sujeto masculino S11.

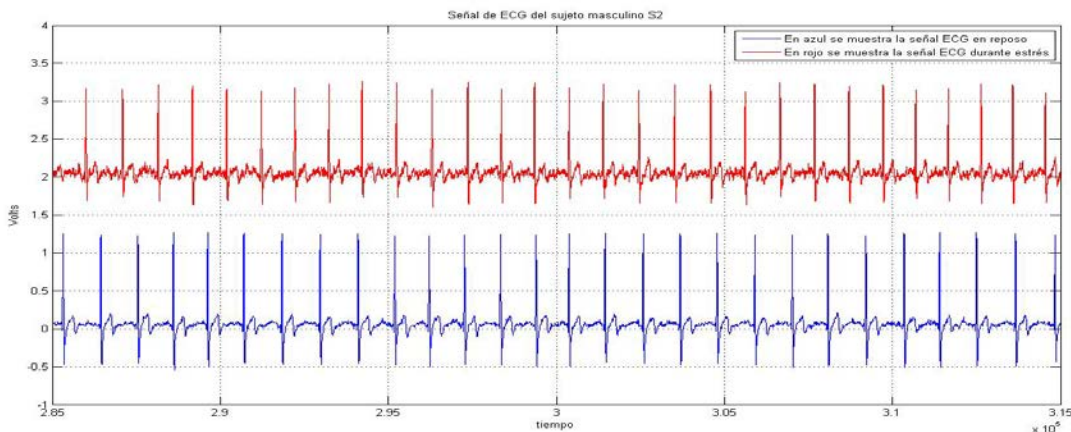


Figura 4 ECG antes (azul) y durante (rojo) la inducción de estrés sujeto masculino S11.

Tratamiento Estadístico inicial de los datos

En esta sección se presentan los valores de FC y el valor medio de la señal ECG de cada sujeto. Se promedia los valores obtenidos con la intención de tener un primer acercamiento cuantitativo al comportamiento de los datos y comparar la tendencia de los mismos con la información recabada en este trabajo.

Antes de calcular valores la FC y el valor medio de la GSR, se hizo un procesamiento digital a las señales para eliminar ruido debido a interferencias ambientales, movimientos involuntarios de los sujetos, etc. La FC se calculó a partir de la distancia promedio entre picos R's consecutivos del ECG; de manera que a menor distancia entre picos consecutivos es mayor la FC. De la señal GSR se calculó el promedio. Esto se hizo para cada una de las señales. Todo el procesamiento se hizo en Matlab.

Se muestra gráficamente el resultado del procesamiento de las señales para calcular FC a partir de la señal ECG. La figura 5 muestra el resultado gráfico del procesamiento sobre la señal ECG para calcular la FC durante la inducción de estrés. La figura 6 muestra un trozo de la misma señal ECG durante la inducción de estrés (ECG original que se observada en la figura 5) y la coincidencia de la posición de la onda R (en círculos negros se marca la posición de la onda R que el procesamiento digital identificó).

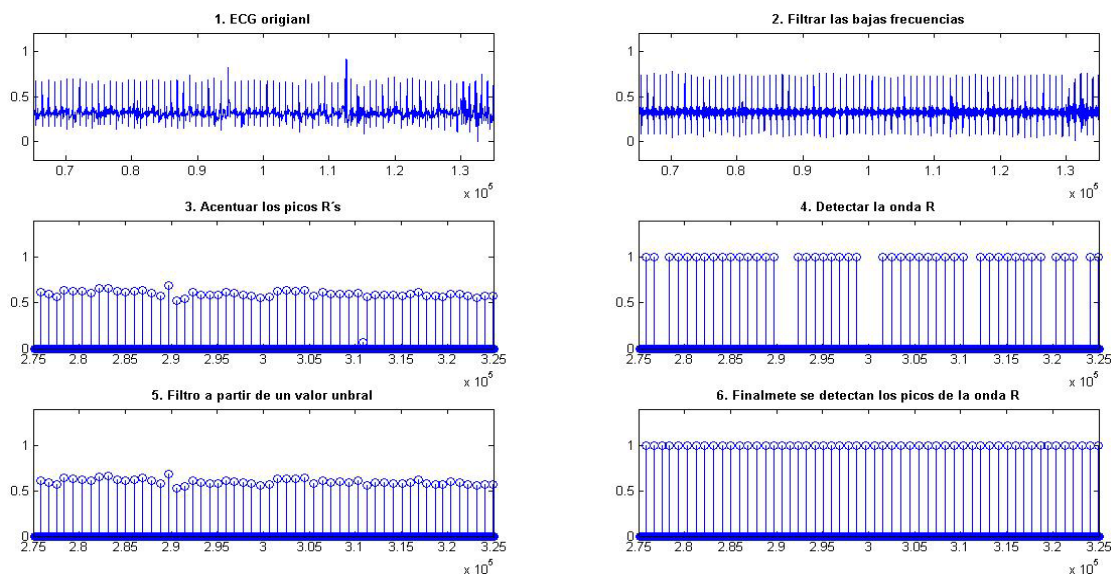


Figura 5 ECG para obtener la FC. Inducción de estrés, corresponde un sujeto masculino.

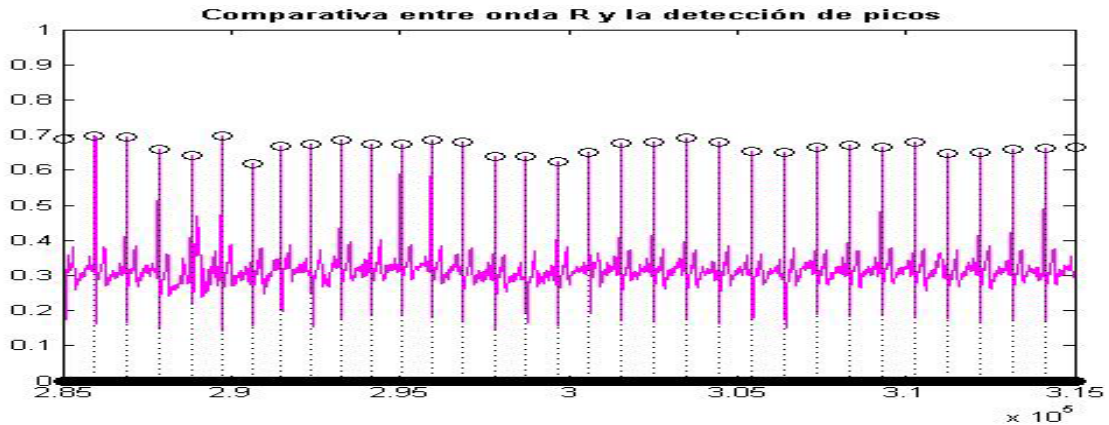


Figura 6 Trozo de señal ECG durante la inducción de estrés

Para obtener el promedio de la señal GSR se filtró para suavizarla; eliminar los artificios de ruido: del ambiente, movimientos del sujeto de prueba, etc. La figura 7 muestra la señal GSR en durante la inducción de estrés antes y después de ser filtrada.

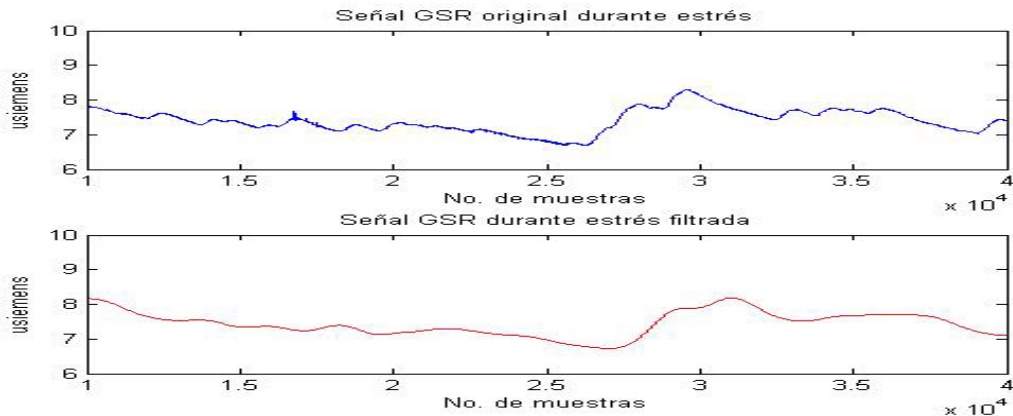


Figura 7 GSR durante la inducción de estrés en azul antes y en rojo después de filtrar

En la tabla 2 se documentan los valores de FC y el promedio de la GSR, durante reposo y durante la inducción de estrés, después de procesar digitalmente todas las señales. Los primeros ocho sujetos (S1 a S8) son femeninos, el resto son masculinos (S9 a 16).

En la tabla 3 se documenta los valores promedios por señal, condición y género (Masculino (M) y Femenino (F)). En la tabla 4 se muestra el promedio de total, el de los 16 sujetos de prueba, por señal y condición.

Tabla 2 valores de FC y el promedio de la GSR.

| Sujeto de prueba | FC [bpm] | | GSR [usiemens] | |
|------------------|----------|--------|----------------|--------|
| | Reposo | Estrés | Reposo | Estrés |
| S1 | 70.189 | 77.967 | 6.030 | 9.416 |
| S2 | 89.168 | 99.976 | 4.766 | 5.689 |
| S3 | 73.642 | 81.479 | 2.262 | 6.555 |
| S4 | 90.007 | 88.002 | 9.389 | 14.470 |
| S5 | 66.602 | 69.978 | 12.205 | 14.558 |
| S6 | 65.784 | 72.055 | 2.799 | 6.271 |
| S7 | 73.177 | 79.384 | 5.500 | 8.721 |
| S8 | 65.310 | 70.535 | 7.668 | 9.697 |
| S9 | 71.150 | 76.715 | 5.212 | 8.676 |
| S10 | 58.770 | 63.650 | 0.558 | 6.463 |
| S11 | 82.177 | 79.828 | 3.283 | 6.076 |
| S12 | 72.456 | 79.734 | 6.248 | 9.477 |
| S13 | 53.807 | 59.730 | 2.957 | 8.035 |
| S14 | 85.098 | 73.784 | 8.308 | 10.021 |
| S15 | 71.642 | 65.219 | 6.938 | 19.692 |
| S16 | 83.508 | 87.812 | 8.446 | 10.380 |

Tabla 3 Promedio por señal, condición y género (Masculino (M) y Femenino (F)).

| ECG [bpm] | | | | GSR [usiemens] | | | |
|-----------|--------|--------|--------|----------------|-------|--------|-------|
| Reposo | | Estrés | | Reposo | | Estrés | |
| M | F | M | F | M | F | M | F |
| 72.326 | 74.235 | 73.309 | 79.922 | 5.244 | 6.730 | 9.853 | 9.020 |

Tabla 4 Promedio de los 16 sujetos por señal antes y durante la inducción de estrés.

| ECG [bpm] | | GSR [usiemens] | |
|-----------|--------|----------------|--------|
| Reposo | Estrés | Reposo | Estrés |
| 73.280 | 76.616 | 5.987 | 9.436 |

4. Discusión

A pesar que la medición fisiológica del estrés se puede llevar a cabo por varias señales importantes como la electromiografía, la electroencefalografía y la respuesta respiratoria, de acuerdo a la investigación realizada, resulta que las señales más confiables son la Frecuencia Cardíaca y la Respuesta Galvánica de

la Piel. Con estas señales se pueden diferenciar estados de reposo y estados de estrés en las personas.

La inspección visual y el tratamiento estadístico permiten constatar que las señales, además de las diferencias entre los estados (reposo o estrés), también permiten identificar que existen respuestas diferentes de los sujetos de prueba (se puede notar el carácter subjetivo del estrés).

Este trabajo de investigación persigue personalizar la medición del estrés, ya que distintos individuos pueden responder de manera distinta al mismo estresor. La primera fase de este trabajo; la rutina de inducción de estrés, la rutina de adquisición de las señales, la primera etapa de procesamiento digital y la extracción de información estadística han revelado información muy prometedora con respecto al objetivo de este trabajo. Pues bien, la tendencia media de ambas señales (FC y GSR) aumentó y este resultado es consistente con [8]. Al respecto de la FC, hubo algunos datos que no aumentaron después de inducir estrés. Este comportamiento atípico se puede ver en S4, S11 y S14 (tabla 2). De S4 podemos decir que era el único sujeto que estaba lactando. Esta condición, de lactancia, se puede incluir en futuros trabajos como parámetro de exclusión al elegir a los sujetos de prueba. En el caso de la GSR, todos los sujetos aumentaron en su medida de GSR durante la inducción de estrés. Este resultado es consistente con [6] y [3]. Con S2, tanto en FC como en GSR, tiene un comportamiento que hemos de destacar; su FC es elevada aún en reposo y se eleva casi hasta 100 bpm y su GSR cambió en menos de una unidad y, de hecho, fue en el que menos cambio se observó. S2, juzgando de vista, tenía un leve sobrepeso. El peso del sujeto puede ser otro criterio de exclusión en futuros trabajos. De la tabla 3 se observa que la GSR tuvo un cambio más significativo antes de estrés vs durante la inducción de estrés. De la tabla 2 se nota que los promedios de FC son muy similares, sin embargo, el promedio de FC durante estrés es mayor en mujeres. Con la GSR pasa lo contrario, el valor promedio es ligeramente mayor en hombres. Los promedios en reposo de la tabla 2 son consistentes con los reportados en [14], [9] y [7].

Trabajo futuro: Obtención de los índices entrópicos

Con el fin de personalizar la medición del estrés se está trabajando en varios algoritmos que detecten el grado de entropía de cada una de las señales de FC y GSR. Para comparar los cambios en entropía nos basaremos en [18] donde se compara la entropía por medio del cociente “entropía durante estrés / entropía antes de estrés (reposo)”.

Será necesaria una rutina para medir la entropía a partir del algoritmo SampEn. Este código tendrá como entrada un vector de valores digitales de FC y GSR. Como resultado, deberá arrojar un escalar que corresponde a la medida de la entropía. Si se ingresa el vector FC el código regresará un escalar que corresponde a la entropía de la FC. Si se ingresa el vector de valores de GSR el código regresará un escalar que corresponde a la entropía de la GSR. Esta rutina aplicará para las 2 señales (FC y GSR) antes del estrés (en reposo) y durante la inducción de estrés.

5. Conclusiones

El estrés es un estado común en los seres humanos para afrontar diversas situaciones de la vida cotidiana; sin embargo, cuando es prolongado o es de gran intensidad puede provocar afecciones, como son presión arterial alta, diabetes, trastornos neuro-psiquiátricos, depresión, entre otros. Entonces es de vital importancia poder medir y prevenir la ocurrencia continua y/o prolongada del estrés [9].

Los factores que inciden en la medición del estrés son variados y en su evaluación se deben tomar en cuenta factores externos e internos. Una idea importante es encontrar índices confiables que tomen en cuenta tanto los eventos estresantes como la respuesta particular de cada persona.

En este trabajo se muestran los avances para realizar el registro y evaluación de los episodios de estrés. Sería importante mostrar estos estados utilizando equipos móviles que permitan monitorizar y guardar los diferentes estados y puedan enviar esas señales a personal médico para que los evalúe.

Estos primeros resultados estadísticos revelan información concluyente; La GSR puede resultar una señal más correlacionada que la FC con el estrés, pues la tendencia de la GSR fue consistente en todos los sujetos; aumentó debido a un evento estresante. Mientras que la FC no fue consistente en su tendencia, pues en tres de los sujetos disminuyó. De manera que se puede ponderar con mayor peso a la GSR que a la FC para medir estrés. Aún falta reafirmar, o refutar, estos primeros datos cuantitativos a partir del algoritmo no lineal SampEn que arrojará información más intrincada de las señales. Hasta esta fase, esperamos observar una tendencia a disminuir de la entropía de las señales FC y GSR según [13], [16] y [18]. Pero, además, ¿qué tanto disminuirá la entropía debida al estrés? ¿Disminuirá con una tendencia uniforme o sólo disminuirá en promedio? ¿Cuál de las dos señales tendrá una disminución más pronunciada? Las respuestas a preguntas de esta índole son las que nos reafirmaran o refutaran éstos primeros resultados que en este presente trabajo hemos reportado.

6. Referencias

- [1] F. D. Barbosa, F. A. Prada, M. Clanner, N. O. de Toledo, C. Córdova, "Respuesta Cardiovascular al Stroop: Comparación entre test Computarizado y Verbal". Publicación de Sociedad Brasileña de Cardiología. Abril 2010. Pp.491-495.
- [2] Informe de la Secretaria de Salud. <http://www.innsz.mx/imágenes/noticias/archivos/Sintesis18mayo2015.pdf>.
- [3] J. A. Healey, R. W. Picard, "Detecting stress during real world driving tasks using physiological sensors". *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*. Volumen 6. Junio 2013. Pp. 156-166.
- [4] A. de Santos Sierra, C. Sánchez Ávila, J. Guerra Casanova, G. Bailador del Pozo, "A Stress-Detection System Based on Physiological Signals and Fuzzy Logic" *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Vol. 58. No. 10. October 2011. Pp. 4857-4865.

- [5] A. M. E. Sánchez, O. G. Pérez, S. L. Leija, “Medición integral de estrés crónico”. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*. Volumen 25. 2004. Pp. 60-67.
- [6] M. Acevedo, P. A. De Luca “Sistema de medición de estrés”. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*. Volumen 22. Enero-marzo 2005. Pp. 20-25.
- [7] G. Tanev, D. B. Saadi, K. Hoppe, B. D. Sorensen. “Classification of Actue Stress using Linear and Non Linear Heart Rate Variability Analysis Derived from Sternal ECG”. *IEEE Engineering in Medicine and Biology*. August 2014. Pp 3386-3389.
- [8] M. A. Picó, “Caracterización de medidas de regularidad en señales biomédicas”. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Julio 2014.
- [9] V. S. Anischenko, N. B. Igosheva, A. N. Pavlov, I. A. Khovanov, T. A. Yakusheva. “Comparative Analysis of Methods for Classifying the Cardiovascular System’s States Under Stress”. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*. No. 2. 2001. Pp 460-481.
- [10] J. González, C. Granados, H. López, I. Torres “Aplicación del cálculo de la entropía para el estudio de registros Electroencefalográficos”. *Matemática, Escuela Politécnica del Litoral*. Vol. 8. Octubre 2010. Pp. 16-21.
- [11] S. Joshua, R. Moorman. “Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy”. *The American Physiological Society*. Vol. 278. 2000. Pp. H2039–H2049.
- [12] S. Pincus, I. Glandstone, R. Ehrenkranz. “A regularity statics for medical data analysis”. *Journal of Clinical Monitoring*. Vol. 7. No. 4. 1991. Pp. 335-345.
- [13] C. Schubert, M. Lambertz, R.A. 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*. Vol. 80. No. 3. March 2010. Pp. 325-332.
- [14] C. Schubert, M. Lambertz, R.A. 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.* Vol. 80. No. 3. March 2010. Pp. 325-332.
- [15] Videojuego línea: <http://www.zanorg.com/prodperso/jeuxchiants/ventilo.swf>
- [16] P. Mellino, M. Bracale, L. Pecchia. “Nonlinear Heart Rate Variability features for real-life stress detection. Case study: students under stress due to university examination”. *Biomedical Engineer.* 2011. Pp. 1-13.
- [17] L. Moya-Albiol, A. Salvador “Empleo de estresores psicológicos de laboratorio en el estudio de la respuesta fisiológica al estrés”. Revista publicada por la Universidad de Valencia *Anales de Psicología.* Volumen 17. No. 1. Junio 2001. Pp. 69-81.
- [18] V. S. Anischenko, N. B. Igosheva, A. N. Pavlov, I. A. Khovanov, T. A. Yakusheva. “Comparative Analysis of Methods for Classifying the Cardiovascular System’s States Under Stress”. *Critical Reviews in Biomedical Engineering.* No. 2. 2001. Pp 460-481.

7. Autores

Mario Alaín González Rivera está por obtener su título de Licenciatura de Ingeniería Biomédica en la UAM-I. Sus áreas de interés son la instrumentación y el análisis de señales biomédicas.

Joel Ricardo Jiménez Cruz es profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica en la UAM-I y cultiva el área de conocimiento de la Cibernética.

8. Agradecimientos

Se agradece la ayuda prestada por la Pasante en Ingeniería Biomédica Faviola Crisóstomos P. por colaborar en la adquisición de las señales y a Iris Yazmín Martínez R. estudiante de Relaciones Internacionales, por la revisión ortográfica del texto.