

Evaluación de Estrategias de Análisis para Detección de Cambios de Señales Fisiológicas para su Uso en Poligrafía.

J. C. Villagomez-Cerda¹, A. R. Mejia-Rodriguez¹

¹Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), S.L.P., México

Resumen— En éste trabajo se presenta el desarrollo y análisis de diferentes estrategias para la automatización del análisis de señales fisiológicas adquiridas por un polígrafo sencillo, diseñado para adquirir tres de las señales utilizadas comúnmente en las pruebas de poligrafía, electrocardiografía (ECG), actividad electrodérmica (AED) y temperatura. Se proponen dos estrategias para analizar dichos resultados cuyo análisis se genera a partir de los cambios que se definen mediante los valores máximos y mínimos de cada una de las señales fisiológicas de los sujetos de experimentación. El resultado de éste trabajo permitirá elegir la estrategia propuesta más adecuada para automatizar el apoyo a la decisión cuando una persona dice la verdad o miente al responder una pregunta, intentando eliminar la subjetividad del factor experticia por parte del entrevistador.

Palabras clave— Actividad electrodérmica, frecuencia cardiaca, temperatura, poligrafía.

I. INTRODUCCIÓN

El polígrafo, también conocido como detector de mentiras debido a una de sus aplicaciones más conocidas, es un instrumento capaz de medir varios procesos fisiológicos de manera simultánea y los cambios presentes en dichos procesos. Usualmente se utilizan las señales de electrocardiografía (ECG), de la cual deriva la frecuencia cardiaca (FC), actividad eléctrica de la piel o actividad electrodérmica (AED), la respiración y la temperatura. Sin embargo, existen polígrafos que además utilizan otras señales tales como electroencefalografía (EEG), presión arterial (PA) y pletismografía de pulso dependiendo de la complejidad de la prueba que se desee realizar [1]. Normalmente una prueba de poligrafía consta de una serie de preguntas aplicadas por un examinador experto al sujeto de estudio de tal manera que las respuestas evocadas por las preguntas de la prueba de poligrafía generan cambios en las señales fisiológicas. Normalmente es necesaria la ayuda de la experiencia y observaciones del examinador para inferir una respuesta de un estado psicológico, es decir, ya sea que la persona esté diciendo la verdad o una mentira.

La prueba del polígrafo es comúnmente utilizada para tres propósitos principales: investigaciones de eventos específicos (e.g. sobre un crimen), investigación de empleados (e.g. sobre algún incidente ocurrido en el lugar de trabajo), e investigación de pre empleados (e.g. durante una entrevista de trabajo). Los diferentes usos involucran la búsqueda de diferentes tipos de información y tienen diferentes implicaciones [2].

El polígrafo no ofrece un resultado definitivo sobre si una persona miente o dice la verdad, sino que devuelve

indicios de cambios en las señales que se están adquiriendo de la persona sometida a dicha prueba, y el examinador con ayuda de su entrenamiento, experiencia y basado en los cambios detectados por el polígrafo, es el que emite la respuesta final, por lo que son los únicos capacitados de usar los polígrafos comerciales. Éste hecho nos llevó a la idea inicial de la implementación de un polígrafo objetivo, el cual pueda automatizar los resultados y de ésta forma eliminar la necesidad de un examinador experto en el área para la interpretación de resultados, si bien los resultados nunca van a poder afirmar con totalidad que una persona miente, si puede ofrecer una estimación de éste hecho.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es el de analizar diferentes estrategias que permitan facilitar la automatización de la detección de cambios fisiológicos relacionados con la acción de mentir.

II. METODOLOGÍA

A. Descripción del Sistema

El sistema de adquisición consiste en un conjunto de circuitos para la adquisición de las distintas señales fisiológicas de interés (AED, ECG y temperatura), una tarjeta de adquisición de National Instruments® (NI-USB 6009), y de una interfaz gráfica de usuario (GUI) creada utilizando el software LabVIEW®. Las salidas de los circuitos son conectadas a distintas entradas analógicas de la tarjeta de adquisición para poder ser procesadas en el programa de LabVIEW®, el cual está conformado por los bloques de procesamiento individuales para cada señal, pero pensados para adquirir y procesar simultáneamente. En dicho programa, se tiene un bloque de adquisición de datos llamado DAQ Assistant que está configurado en el modo de adquisición de muestras continuas, voltaje máximo de ± 10 V, una frecuencia de muestreo de 1 kHz y en un tamaño de 40 muestras para el buffer. La señal de salida de éste bloque contiene la información de los 3 canales de entrada analógicos los cuales son inmediatamente separados para que cada uno sea procesado por el conjunto de bloques adecuados:

1) *Procesamiento de ECG*: El algoritmo utilizado para el procesamiento de ésta señal toma como base el algoritmo Pan-Tompkins [3], y se modifica para poder ser implementado en LabVIEW®. En éste algoritmo primero se filtra la señal con un pasa bandas entre 1 y 30 Hz. para reducir el ruido que pueda contener la señal. Posteriormente se deriva la señal y se eleva al cuadrado, generando que las caídas de voltaje de las ondas Q y S del ECG generen picos

de voltaje positivos. Posteriormente se obtiene la media aritmética del conjunto de datos arrojados por la tarjeta, es decir, la media aritmética de conjuntos de 40 datos; de ésta forma logramos que la señal en lugar de generar los 3 picos correspondientes al completo QRS de acuerdo al algoritmo implementado, solamente se obtenga uno solo que representa el pico R.

Finalmente se fija un umbral que al verse superado genera la condición verdadero o falso de una estructura case, cuya función es calcular la FC a partir de la obtención de los tiempos (milisegundos) de los picos R actual y anterior en los que se supera el umbral; teniendo ambos tiempos se realiza la resta para obtener un valor R-R para calcular el valor $FC=(1/RR)\times 60\ 0000$; finalmente el valor de FC se aproxima al número entero más cercano.

2) *Procesamiento de AED*: En éste caso el procesamiento de la señal es sencillo, solamente se filtra la señal de entrada con un pasa bandas con ancho de banda de 0.1 – 3.0 Hz. dado que la señal no contiene información en altas frecuencias y para propósitos de análisis de resultados se decidió eliminar la componente de voltaje directo y así solo observar los cambios que puedan ocurrir [4].

3) *Procesamiento de Temperatura*: En éste caso se implementó un filtro pasa bajas con frecuencia de corte de 1 Hz debido a la presencia de ruido producida por la interfaz piel / sensor de temperatura. Posteriormente, del conjunto de los 40 datos almacenados en el buffer se toman los primeros 16 que son sumados y son enviados a un nodo formula que transforma el valor de voltaje a un valor de temperatura en °C, utilizando la formula $T=[K_0+K_1(\ln 1000R)+K_2(\ln 1000R)^3]^{-1}-273.15$, donde T es la temperatura en °C, R es la resistencia medida en $k\Omega$, $K_0=1.02119\times 10^{-3}$, $K_1=2.22468\times 10^{-4}$, y $K_2=1.33342\times 10^{-7}$ [5].

B. Protocolo Experimental

El protocolo experimental seguido en éste trabajo está basado en una prueba de preguntas de control [6, 7], el cual es el método de interrogación más utilizado cuando alguien se somete a una prueba de poligrafía, donde normalmente existen 3 tipos preguntas:

1) *Preguntas Irrelevantes*: Se centran en cuestiones completamente neutrales. Están destinadas a absorber la respuesta de orientación inicial evocada por cualquier pregunta de apertura, y permite periodos de descanso entre las preguntas más cargadas.

2) *Preguntas de Control*: Son preguntas generales, no específicas de naturaleza similar a lo que se está investigando.

3) *Preguntas Relevantes*: Preguntas directamente relacionadas con lo que está bajo investigación.

La regla utilizada para realizar inferencias de un patrón dado de respuestas fisiológicas a una conclusión de culpabilidad contra inocencia, o mentira contra verdad, se basa en la comparación de las respuestas evocadas por las preguntas relevantes y las preguntas de control. Se espera

que los individuos que mienten muestren respuestas más pronunciadas en las preguntas relevantes comparadas con las preguntas irrelevantes.

El protocolo seguido en éste trabajo está conformado por: una etapa de control (2 min), la cual proporciona la información de base que se utiliza durante el análisis, una etapa de interrogación (entre 22 y 26 preguntas) en donde por cada pregunta se tenía un periodo de 10 segundos por pregunta en los que el entrevistador formula la pregunta y el sujeto responde, y una etapa de recuperación (1 min) en donde el sujeto se encuentra relajado. Cabe resaltar que todas las preguntas de éste protocolo están diseñadas para ser contestadas con un “sí” o un “no” y que las preguntas irrelevantes están basadas en un pequeño cuestionario que los sujetos de experimentación contestan antes de iniciar la prueba.

Las preguntas diseñadas para éste protocolo se dividen en 4 grupos: preguntas irrelevantes, incómodas, de control y relevantes. Las preguntas irrelevantes son preguntas como “¿Tu nombre es?” o “¿Estudias X licenciatura?” diseñadas para amortiguar las respuestas evocadas del inicio de la interrogación [7, 8]; las preguntas incómodas son preguntas diseñadas para que exista una respuesta más pronunciada respecto de las preguntas irrelevantes, y que pudiesen ser de utilidad al igual que las preguntas de control para la comparación entre la respuesta evocada de estas preguntas con respecto a las preguntas relevantes, un ejemplo de éste tipo de preguntas es “¿Te has hurgado la nariz hoy?”; las preguntas de control son preguntas que se centran en generalidades del contexto que se está interrogando, teniendo como intención que el sujeto mienta en todas o algunas de ellas, éstas preguntas son del tipo: “¿Le has mentado a alguien el día de hoy?”; finalmente las preguntas relevantes son preguntas en las cuales se desea obtener la verdad sobre alguna situación como trampa durante la aplicación de un examen, consumo de drogas o infidelidad.

El número de preguntas de control y relevantes varían dependiendo del sujeto y del contexto del que esté siendo interrogado, sin embargo las preguntas irrelevantes e incómodas fueron casi las mismas para todos los sujetos. En todos los casos se utilizó el mismo orden de interrogación, preguntas irrelevantes, incómodas, control y relevantes.

C. Estrategias

Para la obtención de resultados se propusieron y estudiaron dos estrategias para el análisis de las señales:

1) *Respuesta Global en Reposo (RGR)*: Para ésta estrategia se calcularon las diferencias entre el máximo y el mínimo de cada señal en una ventana de 50 s (del segundo 61 al segundo 110) de la etapa de control (ΔG) del protocolo experimental para cada sujeto, en donde éste se encuentra en reposo. Posteriormente se obtuvieron las métricas de tendencia central más comunes (media aritmética, mediana, moda) de ΔG de cada señal tomando en cuenta todos los sujetos; éstas métricas representan los umbrales globales

para cada una de las señales a analizar y su finalidad es la creación de valores de referencia globales utilizables para cualquier sujeto.

Se seleccionaron solamente la media y la mediana para el análisis de los resultados, debido a que la moda es susceptible a valores atípicos (outliers) presentes en las señales, por lo que estima un umbral con un valor que afecta significativamente la cantidad de preguntas en las que se presentaron cambios. Los valores de los umbrales son comparados con la diferencia de valor mínimo y máximo de cada señal en ventanas de 10 segundos obtenida en cada pregunta (ΔP) formulada a los sujetos. Si dicha ΔP tuvo un valor por encima de ΔG , se consideró como una señal que presentó un cambio considerable. Cambios considerables en 2 o 3 variables fisiológicas en una misma pregunta fueron consideradas como indicador que dicha respuesta pudo ser una mentira.

2) *Porcentaje de Máxima Respuesta Evocada (%MRE)*: En éste caso se tomaron en cuenta los ΔP 's más grandes de cada variable para cada sujeto considerando únicamente las preguntas incómodas y de control, bajo la hipótesis que el inicio del interrogatorio y/o una pregunta inesperada poco convencional produce un cambio significativo. De ésta manera, los umbrales se estimaron como un porcentaje (60%, 65% y 70%) de éste valor máximo de ΔP y el valor obtenido se comparó con las ΔP obtenidas en el resto de las preguntas. Los cambios considerables o indicador de posible mentira fueron tomados de la misma manera que en RGR. Es importante mencionar que a diferencia de la estrategia anterior que es global, ésta estrategia es adaptable de forma individual.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El protocolo de interrogación fue realizado a 11 sujetos sanos (3 hombres y 8 mujeres) de entre 19 y 24 años de edad, los cuales no tuvieron conocimiento previo del tipo de preguntas formuladas; todos los interrogatorios fueron realizados en un cuarto aislado únicamente con la presencia del entrevistador y del sujeto de prueba. El sistema de adquisición utilizado se representa en la Fig. 1, donde se puede observar el hardware utilizado cuyas salidas están conectadas a una tarjeta de adquisición de NI que a su vez se conecta vía USB a una computadora. La Fig. 2 muestra la GUI desarrollada en LabVIEW®, en donde el entrevistador

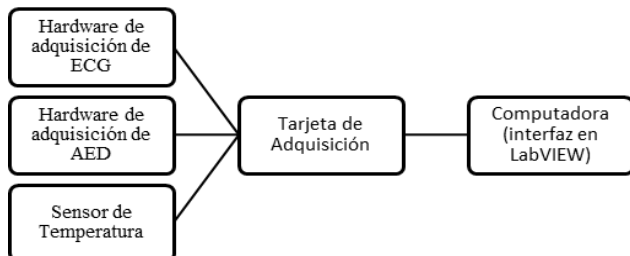


Fig. 1 Diagrama de bloques del hardware utilizado.

puede observar en tiempo real las señales de interés. En ésta figura, se pueden observar cuatro gráficas (ECG, detección onda R, AED y temperatura), un indicador del valor de FC estimado y un controlador numérico para establecer el umbral útil para el cálculo de la FC. Los resultados obtenidos de las dos estrategias estudiadas se muestran en la Tabla I, donde es posible observar el número de preguntas en las que 2 o 3 de las variables fisiológicas tuvieron un cambio por encima del umbral establecido para cada estrategia.

Para la estrategia RGR se presentan casos en los que no se obtuvo cambio en ninguna de las señales de acuerdo a los umbrales establecidos, así como casos en los que hay cambios en muy pocas preguntas, contrariamente a los casos 2 y 8 que presentan cambios en la mayoría de las preguntas. Estos resultados no fueron favorables ya que al comparar con la inspección visual los cambios encontrados por ésta estrategia tienen poca coincidencia. Si bien, al seleccionar la mediana como umbral para cada señal, se obtiene de forma general una mayor cantidad de preguntas en las cuales hubo un cambio significativo, siguen existiendo dos casos (sujeto 5 y 6) en los cuales se obtuvo que no existen cambios. Para la estrategia %MRE se observan resultados más uniformes, es decir, para todos los sujetos existe un número de preguntas con cambios detectados, que además coinciden con la detección visual. Si bien para el sujeto 4 se encontraron cambios en pocas preguntas, no hay sujetos con

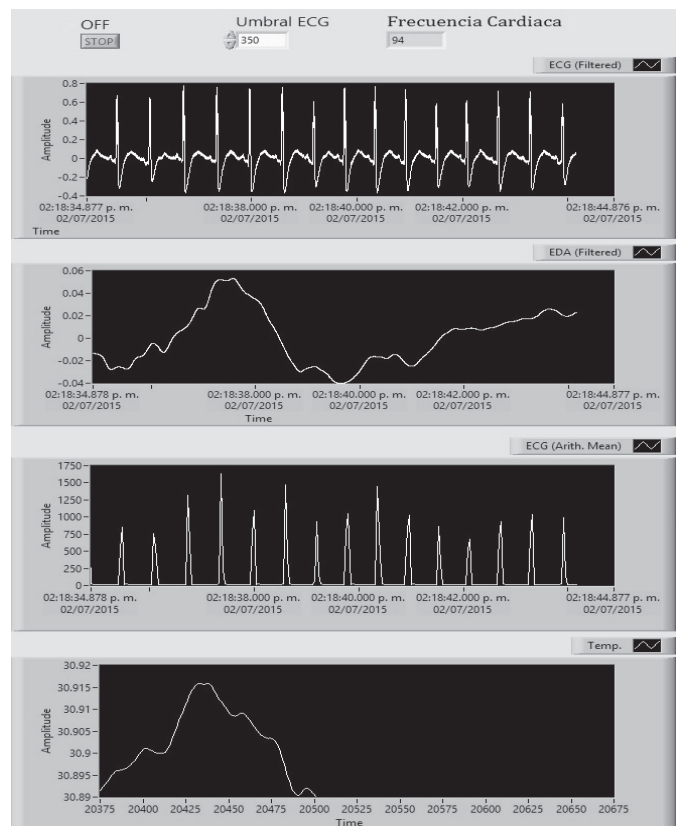


Fig. 2 Fig. Ejemplo de funcionamiento de Interfaz de LabVIEW®

Tabla I.

Análisis de estrategias Respuesta Global en Reposo (RGR) y Porcentaje de Máxima Respuesta Evocada (%MRE), mostrando el número de preguntas en los que existieron cambios en dos o más variables para cada sujeto.

Sujeto	RGR				%MRE					
	Media		Mediana		0.60		0.65		0.70	
	# de variables con cambios				# de variables con cambios					
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
1	0	3	0	3	2	14	2	12	0	10
2	8	12	13	10	0	9	0	5	0	3
3	0	8	0	12	0	6	0	4	0	4
4	0	3	1	9	0	3	0	1	0	1
5	0	0	0	1	0	6	0	5	0	3
6	0	0	0	0	0	4	0	4	0	2
7	0	5	2	10	0	9	0	5	0	5
8	13	12	20	5	5	8	2	6	2	5
9	0	11	0	18	1	6	1	3	1	1
10	0	0	0	0	1	8	1	3	1	2
11	0	0	0	0	1	4	1	3	1	0

ausencia de cambios detectados; y solo un sujeto presenta detecciones en más de la mitad de las preguntas. El número de preguntas que son consideradas de interés disminuye incrementando el umbral de decisión de 60% al 70%.

Analizando la primera estrategia de automatización, se creó la hipótesis de que dicha RGR es funcional de manera global pues los sujetos deberían presentar parámetros fisiológicos similares durante la interrogación; sin embargo, ésta condición solo se cumple de manera ideal pues los parámetros fisiológicos varían entre sujetos de prueba, por ejemplo la respuesta de AED pues la impedancia de la piel es distinta en cada persona, y si uno presenta una respuesta con una amplitud muy alta el umbral se ve afectado, mismo problema para una amplitud muy baja en dicha respuesta, generando así un valor que beneficia solamente a aquellos sujetos que tengan sus resultados cerca del umbral seleccionado. Visto de otro modo, el umbral para los casos en que las respuestas obtenidas sean de gran amplitud o de valores grandes, se obtiene que en la mayoría de las preguntas hay un cambio en los parámetros, situación ejemplificada en los resultados del sujeto 8. Por lo tanto, para RGR, si bien con la mediana se obtienen mejores resultados debido a que se ve menos afectada que la media con los valores atípicos de alguna señal, se continúa observando poca coincidencia entre la inspección visual y la detección automática por RGR.

Ahora, para el %MRE se creó la hipótesis de que es funcional para todos los individuos, debido a que el análisis se realiza en base a los parámetros fisiológicos de sí mismo, por lo que la influencia de los resultados de otro sujeto es nula. Si bien de forma general los resultados para éste método se pueden considerar más estables al no contar con sujetos que no hayan presentado cambios por encima del umbral en las preguntas, en algunos casos el resultado se ve afectado debido a que la respuesta en alguna de las preguntas incómodas es demasiado alta a diferencia de otras preguntas en el interrogatorio. Sin embargo, estos casos son la minoría de los sujetos. Además, es posible observar una

mayor coincidencia de cambios visuales (método tradicional) y cambios automáticos con el umbral al 65% en la estrategia %MRE.

Además, es importante resaltar que en las preguntas en las que se observaron cambios para RGR eran preguntas irrelevantes, las cuales no deberían presentar ninguna respuesta; y para %MRE estos incidentes no se presentaron, lo cual reafirma que dicha estrategia presentó mejores resultados.

IV. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo, se propusieron un par de estrategias de análisis que puedan ayudar a automatizar la toma de decisiones de cuando una persona miente o no utilizando las variables fisiológicas de FC, AED y temperatura. Particularmente para éste trabajo, la estrategia de %MRE arroja resultados más confiables observándose que en la mayoría de los sujetos las variaciones detectadas por la estrategia %MRE concuerdan con la inspección visual de las señales, tal y como lo detectaría un entrevistador experto, a diferencia de la estrategia RGR, en la cual se observaron en mayor cantidad sujetos sin detección de cambios en las preguntas aun cuando los cambios eran visibles de forma cualitativa.

Como trabajo futuro, se evaluará el desempeño de la estrategia %MRE, en una población de mínimo 25 sujetos; así como una comparación de los resultados obtenidos por éste sistema de poligrafía con un polígrafo comercial utilizado por un entrevistador experto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Committee to Review the Scientific Evidence on the Polygraph (National Research Council (US)), National Research Council (US). Board on Behavioral, Sensory Sciences, National Research Council (US). Committee on National Statistics, National Research Council (US). Division of Behavioral, Social Sciences, "The Polygraph and Lie Detection" Haworth Press. National Academies Press, 2003.
- [2] V. Bernal, (SF). Manual de Psicofisiología. Adquisición e Interpretación de Registros psicofisiológicos. Disponible en: http://portalweb.ucatolica.edu.co/easyWeb2/files/15_4650_manual-de-psiocofisiologia-bernal-vladimir.pdf
- [3] Sathyapriya, L., L. Murali, T. Manigandan. "Analysis and detection R-peak detection using Modified Pan-Tompkins algorithm." Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT), 2014 International Conference on. IEEE, 2014.
- [4] W. Boucsein, Electrodermal activity, Springer Science & Business Media, 2012, ch. 3, pp. 349-359.
- [5] D. A. Pollina, S. M. Senter, R. G. Cutlip, "HEMIFACIAL SKIN TEMPERATURE CHANGES RELATED TO DECEPTION: BLOOD FLOW OR THERMAL CAPACITANCE?." *Journal of Global Research in Computer Science*, vol. 6, no 1, 2015.
- [6] B. W. Party, "A review of the current scientific status and fields of application of polygraphic deception detection." London: British Psychological Society, 2004, pp. 10-16.
- [7] B. S. Gershon. "A critical review of the control questions test (CQT)." *Handbook of polygraph testing*, 2002, p. 103-126.
- [8] N. Ansley, "Question Formulation." *Polygraph*, vol. 37, no. 1, pp. 42-48, 2008.