

Sistema electrónico con aplicación IoT para monitoreo facial que brinde estimadores de desconcentración del estudiante universitario en el aula a escala de laboratorio

Vanessa Alvear¹, Jaime Michilena¹, Paul Rosero¹

¹Universidad Técnica del Norte-Ibarra, Ecuador

vealvearp@utn.edu.ec, jrmichilena@utn.edu.ec, pdrosero@utn.edu.ec

Abstract— El sistema de monitoreo facial para determinar la desconcentración en estudiantes universitarios, es un sistema cuyo objetivo es brindar estimadores de desconcentración de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte. El sistema se desarrolló empleando herramientas de visión artificial mediante el uso de librerías de OpenCv y scripts de Python. El hardware utilizado fue una placa Raspberry Pi 2 Modelo B y el módulo Pi Camera para la detección del rostro. Durante el levantamiento de información de la situación actual se determinó que la principal causa de desconcentración de los estudiantes se debe a la fatiga y a la falta de horas de descanso. Se tomaron en cuenta las variables de número de pestañeos y número de bostezos como factores fisiológicos que determinan si una persona está cansada o no. Se realizaron pruebas preliminares y pruebas finales que verificaron el funcionamiento del sistema de monitoreo facial, éste permite identificar la fatiga en los estudiantes y por lo tanto la relaciona con la falta de concentración, los datos obtenidos fueron subidos en tiempo real a una plataforma en Internet donde los docentes pueden visualizar los estimadores de desconcentración en sus periodos académicos.

Keywords: IoT, IoT applications, Visión Artificial, monitoreo facial, desconcentración

I. INTRODUCCIÓN

Internet de las Cosas (IoT) es el instante de tiempo donde se han conectado a internet más cosas u objetos que personas [1], se considera que es la próxima evolución de tecnología relacionada a las comunicaciones debido a que nos permite tener más acceso y conocimiento sobre todo lo que tenemos a nuestro alrededor, monitoreando desde simples electrodomésticos hasta grandes servidores de datos. La implementación de sistemas con IoT se presenta como la tendencia tecnológica actual.

A la par del desarrollo de IoT a nivel mundial, el Ecuador también ha experimentado procesos tecnológicos evolutivos como lo ha sido el crecimiento en el índice de acceso a las TICs en todo el país, teniendo alrededor del 50% de los ecuatorianos con acceso a Internet. [2]. Considerando estos datos estadísticos y ligados a los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir que busca el cambio de la matriz productiva y reducir la brecha tecnológica, se plantean nuevas soluciones y

aplicaciones tecnológicas que solucionen problemas cotidianos de la población.

Uno de los temas de interés para la sociedad ecuatoriana es la Educación Superior, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, la tasa neta de escolarización superior es de 59,1% y la edad promedio en la que un ecuatoriano/a obtiene su título universitario es de 24 a 25 años [2], lo que indica que se tarda alrededor de 7 años para finalizar una carrera universitaria cifra que es alarmante para los expertos en educación. Los factores que intervienen para que un estudiante universitario se tarde este tiempo en cursar sus estudios son principalmente ligados a su desempeño académico, debido a que la mayoría de universidades ecuatorianas tienen altos índices de estudiantes repitiendo una o varias materias, en el caso específico de la UTN en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas en la Carrera de Electrónica y Redes de Comunicación para el semestre de Octubre 2015 a Febrero 2016 se tiene un 44% de estudiantes con segunda matrícula. Este tipo de casos serían ocasionados por la falta de concentración de los estudiantes en sus clases, afectando su aprendizaje y por ende su desempeño dentro del aula.

En base a estos antecedentes de acceso a las TICs y el desarrollo de IoT se plantea la creación de un sistema de monitoreo a los estudiantes dentro de sus aulas de clase que permita indicar al profesor en que momento sus alumnos están perdiendo la concentración realizando un monitoreo facial. Brindándole al docente la posibilidad de analizar su método de aprendizaje y cómo este es receptado por los alumnos y a partir de esto poder mejorar los problemas antes indicados.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. *Internet of Things*

Internet of Things (conocida también como IoT) es una plataforma capaz de conectar dispositivos y sensores que permitan monitorear aspectos de la vida cotidiana, representa de cierta manera la próxima evolución de Internet. En la actualidad se aplica IoT en áreas de salud, construcciones,

tráfico vehicular, agricultura, etc. Se prevé que para el 2020 existirán alrededor de 50 mil millones de dispositivos conectados [3]. Los inicios de Internet of Things se remontan al año de 1999 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, donde se trabajó con la implementación de un sistema de identificación basado en RFID el cual sería el punto de partida para futuras investigaciones de IoT [1]. Para el año 2005 la ITU publica su primer trabajo en el que define IoT como una nueva dimensión al mundo de las TICs, en donde se multiplicarán las conexiones y crearán una red dinámica de redes con redes.

Al ser una tecnología nueva IoT presenta varias limitaciones en su desarrollo las principales se presentan a continuación:

- Limitaciones a nivel de seguridad: Ocasionadas por la falta de un protocolo que permita que los datos puedan ser encriptados y descryptados[3].
- Limitaciones a nivel del número de direcciones IPv4 disponibles: se requiere migrar al protocolo IPv6 donde el número de direcciones IP asignables se adapta al acelerado aumento de dispositivos inteligentes en el mundo.
- Limitaciones a nivel de almacenamiento de información: debido al crecimiento exponencial de los datos que se envían y se reciben cada segundo en la Internet, se requiere implementar un storage con alta disponibilidad y capacidad de almacenamiento [3].

En la actualidad no existe un estándar que especifique una arquitectura para IoT, debido a que se encuentra en proceso de desarrollo, sin embargo la mayoría de autores coincide en una estructura dividida en capas, es así que [4] indican que la estructura de IoT podría representarse como un modelo de tres capas como se muestra a continuación:

- **HARDWARE** (sensores, actuadores y dispositivos de comunicación), Los sensores permiten a los usuarios obtener información sobre su entorno, permitir nuevas formas de interacción con el usuario, y conectar el mundo real con información.
- **MIDDLEWARE** (herramientas informáticas), utilizadas para la captura y análisis de los datos. La información secundaria que se obtiene del sensor también se puede utilizar para sincronizar actividades de aprendizaje con el entorno físico.
- **CAPA PRESENTACIÓN** (o servicio web), permite que los datos aprendidos y analizados puedan ser visibles para el usuario.

En cuanto a los componentes de IoT podemos diferenciar dos principales que son Machine to Machine y Machine Learning. En [5] se define que en las Machine to Machine (M2M) un gran número de máquinas inteligentes / dispositivos se comunican directamente uno con el otro con poca o ninguna intervención humana para compartir

información y tomar decisiones colaborativas de forma automática. Por otra parte se indica que Machine Learning (ML) o Aprendizaje Automático es una herramienta creada para desarrollar tareas de inteligencia artificial a través de la implementación de robustos algoritmos computacionales, su principal objetivo es permitir que los sistemas puedan aprender por sí mismos sin la necesidad de que exista una reprogramación en el software, ahorrando tiempo y mejorando el funcionamiento de las aplicaciones y sistemas electrónicos. [6]. El campo de desarrollo de ML se divide en dos áreas que son: Aprendizaje Supervisado y Aprendizaje no Supervisado.

B. Visión Artificial

El campo de estudio de la visión artificial o visión por computador es uno de los componentes de la Inteligencia Artificial, comprende un conjunto de técnicas que permiten que un computador o dispositivo electrónico sea capaz de entender e interpretar el significado de distintas imágenes o escenarios con distintas características. A partir del reconocimiento de patrones y procesamiento de imágenes los sistemas que usan visión artificial pretenden dotar a los computadores de la habilidad de simular la visión humana, siendo capaces de tomar decisiones autónomas basados en conjuntos de entrenamiento previos y ejecutando procesos que mejoran la automatización. Los principales objetivos de la visión artificial tomados de [7] se indican a continuación:

- Detección, segmentación y localización de patrones en imágenes con distintas características.
- Captura y registro de características imágenes en una sola captura o escena.
- Seguimiento de objetos en secuencias de imágenes, ya sea determinado por un color, forma, o figura específica.
- Estimación de posturas tridimensionales.

Las aplicaciones potenciales relacionadas a la visión artificial comprenden una amplia variedad de sistemas tanto en el ámbito industrial como en el ámbito académico, a continuación, se presenta un breve listado de estas aplicaciones [8]

- Vigilancia y seguridad, aplicado en edificios inteligentes para conteo de personas, sistemas de control de acceso dentro de empresas, detección de acceso no autorizado en espacios controlados, sistemas de rastreo de personas y vehículos, entre los principales.
- Control de calidad en industrias, incluyen sistemas que permiten distinguir entre los productos alimenticios en buen o mal estado, hasta aplicaciones que requieren mayor precisión como la clasificación de materiales, por ejemplo, la diferenciación entre tuercas y tornillos
- Interacción humano-robot, este campo de estudio es imprescindible para el desarrollo de futuros robots

con capacidades avanzadas aplicadas al desarrollo de actividades cotidianas

- Seguimiento de trayectorias, aplicaciones como el famoso ojo de halcón implementado en los partidos de tenis permiten reconstruir el movimiento de objetos en tiempo real.

C. Algoritmos de Detección Facial

En varios trabajos científicos se han desarrollado algoritmos de detección facial y cada uno ha tomado las mejores funciones de algoritmos anteriores, siempre buscando mejorar y reducir el tiempo que un sistema electrónico se tarda en detectar el rostro, sin embargo, ha llamado la atención de manera especial a los investigadores el denominado Boosting y posteriormente la adaptación a este algoritmo que se denomina Adaboost, a continuación, se indican las características de éstos.

El Boosting es un algoritmo basado en el aprendizaje de clasificadores débiles con respecto a una distribución para formar un clasificador final más fuerte. Su funcionamiento se basa en la pregunta: ¿Puede un conjunto de clasificadores débiles unificarse para crear un clasificador fuerte? Se define a un clasificador débil como un clasificador que guarda una mínima relación con la clasificación final, mientras que un clasificador fuerte es aquel que guarda una fuerte relación con la clasificación final [9]

El algoritmo Adaboost es un tipo de Boosting Adaptativo, fue propuesto por Freund y Schapire en el año de 1996, su objetivo es conseguir el aprendizaje a partir de modificar la distribución de muestras al finalizar cada iteración, tomando ventaja de los clasificadores débiles para formar un clasificador fuerte. Este algoritmo es comúnmente implementado usando árboles de decisión. A partir de Adaboost se han desarrollado diversos trabajos de detección facial, entre los más conocidos tenemos el realizado por Viola y Jones que crea un clasificador no lineal basado en el funcionamiento de Adaboost [10].

D. Raspberry Pi 2 modelo B

Ordenador de placa reducida o SBC (Single Board Computer) desarrollado por la Fundación Raspberry Pi, fue creado con el objetivo de mejorar la metodología de enseñanza de informática en las escuelas de Reino Unido, actualmente es utilizado a nivel mundial y contempla aplicaciones en otras áreas además de la educación.

La placa incluye: chip Broadcom BCM2835 que contiene un CPU a 700 MHz, procesador gráfico Broadcom Video Core IV, memoria RAM 2GB (dependiendo del modelo de la placa), el sistema operativo por defecto es RaspBian aunque soporta la mayoría de versiones de Linux e incluso se podría instalar Windows 10. El sistema requiere una SD card para el almacenamiento debido a que no dispone de un disco duro incorporado. Entre las principales características de hardware cuenta con un puerto RJ-45, puertos USB, entradas y salidas de video con un consumo energético que va desde los 500mA

hasta los 800mA en los modelos más recientes. En la figura 1 se puede apreciar una vista frontal de la placa Raspberry Pi 2 Modelo B [11].

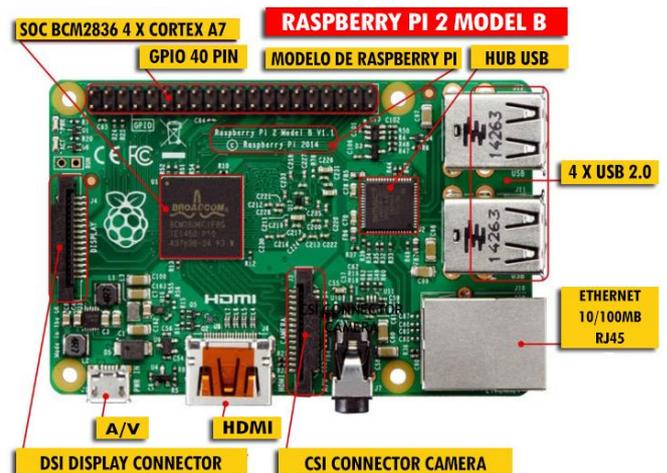


Figura 1. Vista frontal del Raspberry Pi 2 Modelo B

E. Python

Python es un lenguaje de programación orientado a objetos, interpretado o de script, es decir que no requiere compilar el código fuente para poder ejecutarlo proporcionando rapidez el momento del desarrollo, además es un lenguaje independiente de las plataformas teniendo versiones libres para Linux, Windows y Mac OS. Cuenta con numerosas librerías y funciones para el tratamiento de archivos, strings, números, etc, las cuales vienen incorporadas en el propio lenguaje [12].

F. OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision) es una biblioteca de distribución libre creada por Intel para el desarrollo de sistemas de visión artificial con un enfoque especial en aplicaciones en tiempo real, cuenta con interfaces de C++, C, Python y Java, es multiplataforma siendo compatible con Windows, Linux, Mac OS y Android. Integra alrededor de 500 funciones para el reconocimiento y posición de un objeto, reconocimiento de gestos, calibración de cámaras y distintos tipos de visión. Proporciona manejo de datos estáticos y dinámicos [13].

La principal ventaja de OpenCV y la razón por la que es utilizado en la mayoría de aplicaciones de visión artificial es por su fuerte enfoque en tiempo real, además de su optimización en lenguaje C que brinda mejoras a los procesadores de múltiples núcleos [14].

G. Estimadores

En [15] se presenta la siguiente definición “Un estimador es un suceso aleatorio que asume diversos valores con

probabilidades distintas, un estimador puede variar en torno al parámetro poblacional”.

III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A. Análisis de la Situación Actual

Se aplicó una encuesta a 72 estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación. Las preguntas realizadas permitieron comprobar que el número de créditos de un estudiante es directamente proporcional al número de horas dedicadas a estudiar, mientras más créditos mayor número de horas dedicadas al estudio, y a su vez es inversamente proporcional al número de horas dedicadas a descansar, teniendo un elevado número de estudiantes que descansan un tiempo muy reducido respecto a las horas recomendadas para tener una buena salud. En la figura 2 se puede ver la relación directamente proporcional e inversamente proporcional entre las variables antes mencionadas.

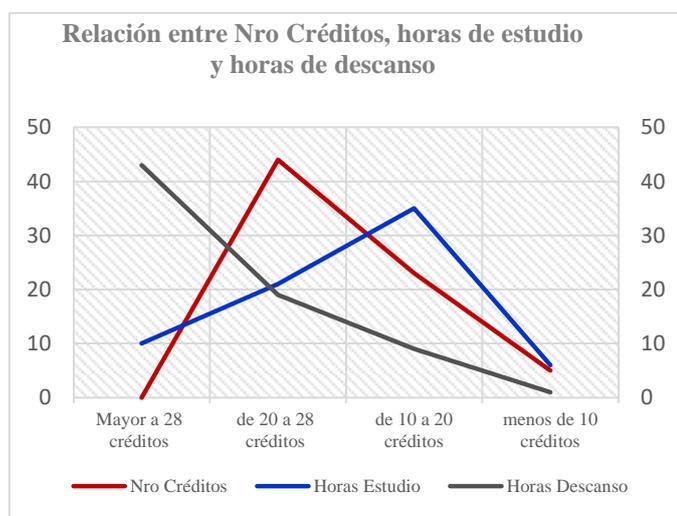


Figura 2. Relación entre las variables analizadas en la encuesta

Para conocer más a fondo la opinión de los estudiantes se solicitó que señalen la razón que consideran que más influencia tiene en la falta de concentración durante sus periodos académicos, se obtuvo que más del 50% de encuestados consideran que la principal causa es la falta de horas de descanso. Este resultado está totalmente respaldado por varios estudios e investigaciones científicas que muestran la relación entre la calidad y cantidad de horas de sueño y el desempeño de una persona en el ámbito laboral y social.

El estudio de [16] cita varios trabajos realizados respecto a los patrones de sueño e indican que respecto a la inteligencia las personas con patrones de sueño largos obtienen mayores puntuaciones en los test de inteligencia fluida y pensamiento divergente, además existen mejores resultados en cuanto a la consolidación de la memoria y aprendizaje.

Con la información recolectada y las bases teóricas ya mencionadas se puede definir que la determinación de estimadores de desconcentración, que es el objetivo de este trabajo de titulación, puede realizarse basándose en características fisiológicas relacionadas a la falta de horas de descanso, las principales señales de cansancio que pueden presentar los estudiantes son bostezos repetidos y reducido número de pestañeos, estos factores pueden ser analizados mediante el uso de software de visión artificial y sus diversas librerías destinadas a la detección de objetos e identificación de patrones.

En [17] presentan un sistema de detección de somnolencia de conductores al manejar, basado en la medición de ciertos comportamientos, estas conductas incluyen bostezos, parpadeos e incluso posición de la cabeza. Una vez analizados los trabajos de varios autores, las bases teóricas y los resultados de las encuestas aplicadas a los estudiantes se determina que los parámetros a considerar para este trabajo serán el pestañeo y el bostezo como muestras del cansancio o fatiga en los estudiantes.

A pesar de que existen varios comportamientos y características fisiológicas propias de un estado de somnolencia, se determinó que los parámetros de número de bostezos y número de parpadeos son los más adecuados para ser monitoreados debido a que no requieren de hardware adicional, únicamente con una cámara se pueden adquirir los datos relacionados a estas variables. Existen sistemas que emplean el pulso, el movimiento de la cabeza e incluso la temperatura corporal para detectar somnolencia [17] [18], sin embargo no es factible para el monitoreo a los estudiantes debido a que estas mediciones requieren de sensores adicionales que impedirían el desarrollo normal de las actividades del estudiante dentro del aula de clases.

B. Ámbito del Sistema

El sistema de monitoreo facial que brinda estimadores de desconcentración de los estudiantes dentro del aula de clases con aplicación IoT, es un sistema a escala de laboratorio, lo que indica que sus pruebas servirán para futuras implementaciones dentro de los planteles educativos del país. Para comprender de mejor manera el concepto de escala de laboratorio, se cita el trabajo de [19] que indica que en general, un laboratorio constituye un espacio primario de investigación en donde se plantean las metodologías propicias para confirmar o rechazar una hipótesis y formular o comprobar un modelo matemático. Al indicar que un proyecto será desarrollado a escala de laboratorio se habla de que se desarrollará a una escala menor que la industrial, donde no se requiere que se siga todas las etapas convencionales de un proceso de I+D.

C. Beneficiarios

Se consideran como beneficiarios iniciales a los alumnos y docentes de la carrera de Electrónica y Redes de Comunicación de la UTN. Como beneficiarios directos tenemos a todos los estudiantes de las distintas carreras de la

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, debido a que el sistema será desarrollado para cumplir su funcionamiento dentro de las aulas del edificio de la FICA las mismas que son compartidas por todos los estudiantes ya mencionados, permitiendo la escalabilidad del proyecto. Los resultados obtenidos permitirán analizar el desempeño tanto de estudiantes como de docentes dentro del aula de clases y su participación activa en el proceso de aprendizaje.

D. Objetivos del Sistema

Los objetivos que se detallan a continuación son el resultado de un amplio análisis de las bases teóricas y técnicas, levantamiento de información e investigación dedicada a la visión artificial e IoT, todo este proceso ha permitido definir criterios de diseño para el sistema y a su vez se han permitido determinar los propósitos principales con los que debe cumplir el sistema de monitoreo:

- Monitorear a los estudiantes dentro del aula de clases en distintos horarios para determinar si existe desconcentración.
- Emplear los algoritmos de visión artificial existentes de manera que con el uso de sus librerías y el procesamiento de imágenes permitan determinar si un estudiante está desconcentrado.
- Analizar los datos obtenidos del monitoreo para brindar los estimadores de desconcentración.
- Implementar la comunicación entre el sistema desarrollado y una plataforma en la Internet donde se puedan visualizar los estimadores de desconcentración.

E. Requerimientos del Sistema

Para el análisis de los requerimientos del sistema se tomó como referencia el estándar ISO / IEC / IEEE 29148: 2011 el mismo que contiene directrices para el proceso relacionado a la ingeniería de requisitos, específicamente ha sido desarrollado para ser implementado en los sistemas y productos de software y servicios a lo largo del ciclo de vida. [20]

El estándar define la construcción de un buen requisito que proporcione atributos y características teniendo en cuenta la aplicación reiterativa a lo largo del ciclo de vida del sistema. El ISO / IEC / IEEE 29148: 2011 guarda una estrecha relación con anteriores normas destinadas al proceso de aplicación de requerimientos, como son la norma ISO / IEC 12207: 2008 e ISO / IEC 15288: 2008.

F. Selección de Hardware y Software

Una vez analizados los requerimientos del sistema se seleccionó el software OpenCV y Python y en cuanto a hardware el sistema embebido Raspberry Pi 2 modelo B y el módulo Raspberry Pi camera v1.

G. Diseño del sistema

De la información recolectada en los apartados anteriores se hizo un análisis que permitió definir las directrices para el diseño del sistema, a continuación, se presentan los criterios tomados en cuenta para el desarrollo e implementación del sistema de monitoreo facial:

- El sistema basa su funcionamiento en la detección de aspectos fisiológicos de cansancio, la razón de este criterio se debe a que en la tabulación de encuestas se obtuvo que la principal causa de desconcentración es la falta de horas de descanso. Los aspectos relacionados al cansancio fueron citados del trabajo de [17]
- Al ser un objetivo de este trabajo brindar los estimadores de desconcentración se procederá al diseño de la aplicación en una plataforma para IoT que permita visualizar adecuadamente los datos.

Como parte del diseño del sistema se muestra a continuación el diagrama de bloques que guiará el funcionamiento y los procesos para poder desarrollar adecuadamente los scripts y la aplicación en la plataforma IoT.

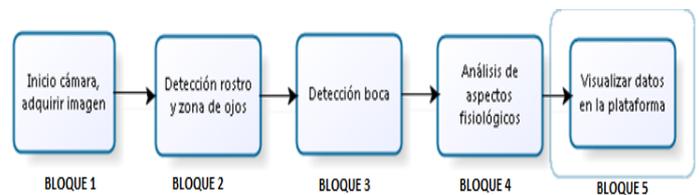


Figura 3. Diagrama de bloques del sistema

Para dar inicio con la adquisición de datos se inicia con el bloque 1, este es el encargado de que la cámara se inicie y empiece a adquirir imágenes, para ello debe desarrollarse un script en Python para arrancar la cámara. En el bloque 2 se inicia el trabajo de OpenCV, aquí se detecta el rostro y se crea una zona de interés mejor conocida como ROI. Las regiones ROI, de sus siglas en inglés “Region of Interest”, son funciones de OpenCV que permiten enfocarnos específicamente en un lugar de la imagen para sacar de éste sus características más importantes. La ROI determinada para nuestra imagen permite enfocar la parte superior del rostro y detectar los ojos y por consiguiente el número de parpadeos. El siguiente bloque se encargará de la detección de la boca y posteriormente de contar el número de bostezos. Con los datos obtenidos en el bloque 2 y bloque 3 se realiza el proceso de análisis de aspectos fisiológicos para determinar si el sujeto monitoreado presenta rasgos de cansancio y está perdiendo la desconcentración. Finalmente, los datos del bloque 4 deben ser subidos a la plataforma IoT, esto se realiza en el bloque 5. A continuación se presentan la figura 4, figura 5 y figura 6 de las distintas etapas del diseño del sistema.

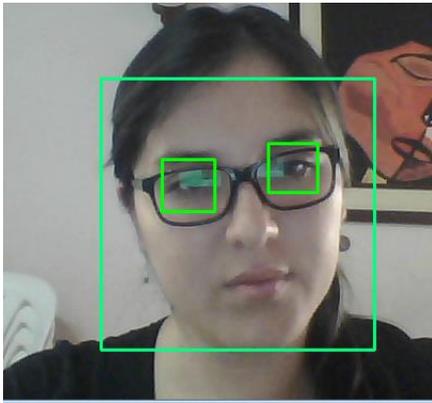


Figura 4. Resultado bloque 2, detección del rostro y ojos

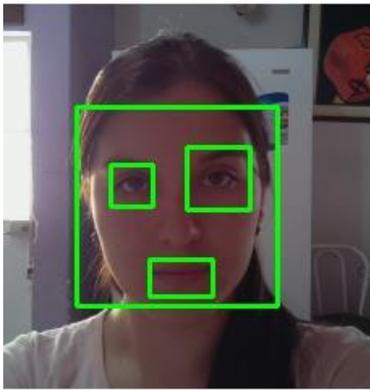


Figura 5. Resultado bloque 3, detección del rostro, ojos y boca

pestaños y el valor de los bostezos sube hasta 3, lo que muestra claramente como una muestra de cansancio, los valores críticos fueron los obtenidos a partir de la 13h00 donde el cansancio se hizo más evidente hasta el hecho de perder por completo la concentración

La fase de pruebas preliminares y finales permitió conocer los posibles errores del sistema y como solucionarlos, también mostró la efectividad de detección de los rasgos fisiológicos de los estudiantes monitoreados, pero principalmente demostró que existe una tendencia de desconcentración mayor a partir de las 12h30, horario que podría ser reestructurado para evitar la falta de concentración en los alumnos. La visualización de los datos recolectados a lo largo de las pruebas del sistema se muestra en la figura 7.

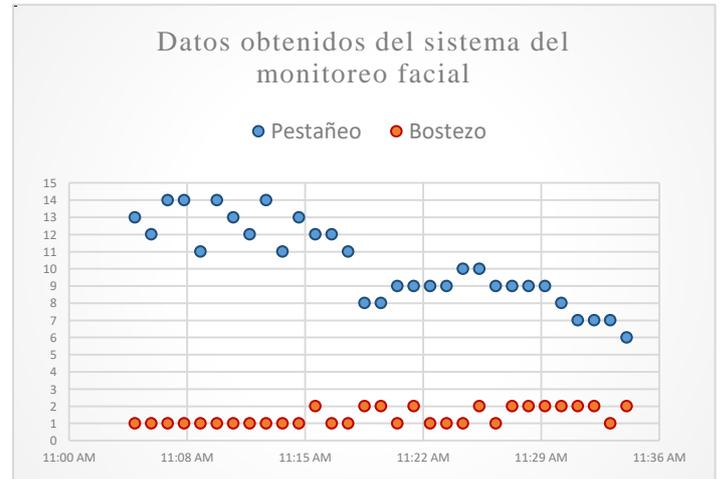


Figura 7. Datos obtenidos del sistema de monitoreo facial



Figura 6. Datos subidos en Ubidots, bloque 5

IV. PRUEBAS DEL SISTEMA

En los datos obtenidos predominó una tendencia que indica que en los horarios de 9h00 a 12h00 horas del día la distancia entre el número de pestaños y el número de bostezos es mayor, conforme transcurren los periodos académicos a partir de las 12h30 se observó que el contador de bostezos aumentaba y el de pestaños disminuía, por lo tanto la distancia entre las dos variables se reduce. En el monitoreo a partir de las 12h30 no se registran valores mayores a 10

V. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un sistema electrónico con aplicación IoT para el monitoreo facial que brinda estimadores de desconcentración de estudiantes universitarios dentro del aula, empleando herramientas de visión artificial y desarrollado sobre una placa Raspberry Pi 2.
- Se obtuvieron las bases teóricas y conceptos necesarios relacionados principalmente a Internet de las Cosas y Visión Artificial, los fundamentos teóricos adquiridos respaldaron los criterios de diseño establecidos para el sistema de monitoreo facial.
- Se encontró que las principales causas de desconcentración de los estudiantes de CIERCOM del semestre Abril-Agosto de 2016 están relacionados a la falta de horas de descanso, estos resultados sustentaron la realización de este proyecto que permite el monitoreo de desconcentración de los estudiantes dentro del aula de clases.

- Se empleó la norma IEEE 29148 como directriz para conocer los requerimientos de arquitectura, de software y hardware y requerimientos de usuarios necesarios para el desarrollo del sistema de monitoreo facial
- Se seleccionó el hardware y software adecuados para el sistema de monitoreo facial, basados en los requerimientos del sistema y en un análisis de los productos existentes en el mercado, consiguiendo como resultado que el Raspberry Pi 2 Modelo B, el módulo Pi Camera v1, el software OpenCV y Python fueron las opciones idóneas que permitieron el correcto desarrollo del sistema.
- Se diseñó el sistema de monitoreo facial empleando herramientas de visión artificial que permitieron detectar factores fisiológicos como pestañeo y bostezo. El sistema se basó en clasificadores tipo Haar proporcionados por OpenCV que permitieron la detección de rostro, ojos y boca.
- Se realizó una fase de pruebas para determinar el correcto funcionamiento del sistema, para ello se monitoreó a varios estudiantes de CIERCOM de la Universidad Técnica del Norte, comprobando que la
- detección rostro, ojos y boca fue exitosa y los contadores de pestañeo y bostezo funcionaron satisfactoriamente.
- Se utilizó la plataforma libre Ubidots para subir los datos adquiridos por el sistema de monitoreo facial a la Internet donde pueden ser visualizados y analizados por los usuarios, permitiéndoles conocer los estimadores de desconcentración de los estudiantes durante los distintos periodos académicos.
- Durante la fase de pruebas finales se recolectaron datos que indicaron una mayor tendencia de desconcentración de los estudiantes en los horarios que comprenden a partir de las 12 pm, y teniendo la tendencia más baja en los horarios de 8 am a 11 am.

VI. REFERENCIAS

- [1] CISCO, «Education and the Internet of Everything,» *Cisco Consulting Services and Cisco EMEAR Education Team*, pp. 1-15, 2013.
- [2] INEC, *Mujeres y Hombres del Ecuador en cifras III*, 2013.
- [3] Ansari, A. N., Sedky, M., Sedky, M. y Tyagi, A., «An Internet of things approach for motion detection using Raspberry Pi,» de *Proceedings of 2015 International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things, ICIT 2015*, 2015.
- [4] I. Plauska y R. Damaševičius, «Educational Robots for Internet-of-Things Supported Collaborative Learning,» *Springer International Publishing Switzerland 2014*, pp. 346–358., 2014.
- [5] Z. Fan, Q. Chen, G. Kalogridis, S. Tan y D. Kaleshi, «The Power of Data: Data Analytics for M2M and Smart Grid,» de *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on*, Berlin, 2012.
- [6] S. Alwakeel, B. Alhalabi, H. Aggoune y M. Alwakeel, «A Machine Learning Based WSN System for Autism Activity Recognition,» de *2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications*, Miami, FL, USA , 2015.
- [7] M. Cazorla, «Robótica y Visión Artificial,» Universidad de Alicante.
- [8] S. Morante Cendrero, *Interfaz y librería para Visión Artificial, Navegación y Seguimiento en Robótica*, Leganés, 2012.
- [9] M. E. García, *Diseño e implementación de una herramienta de detección facial*, México, 2009.
- [10] A. Vivas, *Desarrollo de un sistema de reconocimiento facial*.
- [11] Raspberry Pi Foundation, «Raspberry Pi Foundation,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>.
- [12] Python Software Foundation, «python,» [En línea]. Available: <https://www.python.org/>.
- [13] R. Deepthi y S. Sankaraiah, «Implementation of mobile platform using Qt and OpenCV for image processing applications,» de *IEEE Conference on Open Systems (ICOS2011)*, Langkawi, Malaysia, 2011.
- [14] M. Marengoni y D. Stringhini, «High Level Computer Vision using OpenCV,» de *24th SIBGRAP Conference on Graphics, Patterns, and Images Tutorials*, 2011.
- [15] M. Vivanco, *Muestreo Estadístico Diseño y Aplicaciones*, Santiago de Chile: Editorial Universitaria S.A, 2005.
- [16] E. Miró, M. Á. Iáñez y M. C. Cano-Lozano, «Patrones de sueño y salud,» *International Journal of Clinical and Health Psychology*, pp. 301-326, 2002.
- [17] Vandna Saini y Rekha Siani, «Driver Drowsiness Detection System and Techniques: A Review,» *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, pp. 4245-4249, 2014.
- [18] H. Häkkinen, H. Summala, M. Partinen, M. Tiihonen y J. Silvo, «Blink Duration as an Indicator of Driver Sleepiness in Professional Bus Drivers,» *SLEEP*, vol. 22, n° 6, pp. 798-802, 1999.

[19] R. González Castellanos, Principios Básicos de Escalado, 2000.

[20] ISO/IEC/IEEE, «Systems and software engineering -- Life cycle processes -- Requirements engineering.» Switzerland, 2011.