

Research Article

Autonomous System Based on Artificial Vision for the Ergonomic Evaluation of Forced Postures

Sistema Autónomo Basado en Visión Artificial para la Evaluación Ergonómica de Posturas Forzadas

Danny Cando¹, Javier Gaibor¹, Ángel Guamán^{2*}, and Eduardo García²

IV INTERNATIONAL
CONGRESS OF
ENGINEERING FACULTY OF
MECHANICS (IV COINTI
2021)

Corresponding Author: Ángel
Guamán; email:
a_guaman@epoch.edu.ec
uaman@epoch.edu.ec

Published: 31 August 2022

Production and Hosting by
Knowledge E

© Danny Cando et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

¹Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

ORCID

Ángel Guamán: <https://orcid.org/0000-0002-5145-6994>

Abstract

This study describes the implementation of a job evaluation computer application using the RULA (Rapid Assessment of Upper Limbs) method based on an artificial vision to optimize test time. The RULA method was studied and understood, and a program was developed using the LabVIEW Graphics programming language. As a camera that met the requirements of this project, the Kinect for Windows V2 was selected, the main advantage of which is an active depth sensor based on the light that allows access to the data represented by a simple frame. This facilitated the development of algorithms. The purpose of this application is to considerably reduce the evaluation time of forced postures, in addition to offering advantages such as real-time monitoring of the operator's exposure conditions to ergonomic risks due to poor posture and repetitive movements. The software has less variation in the scores obtained by the algorithms than analysts using traditional methods. It is concluded that with the implementation of the application based on an artificial vision for the evaluation, greater efficiency was achieved in the process, in terms of time and precision factors, obtaining reliable results from the use of these technologies.

Keywords: posture assessment, artificial vision, LabVIEW, RULA.

Resumen

El objetivo del trabajo es describir la implementación de una aplicación informática de evaluación del trabajo mediante el método RULA (Rapid Assessment of Upper Limbs) basado en visión artificial para optimizar el tiempo de prueba. De principio se realizó el estudio del arte acerca del método RULA, posteriormente desarrolló un programa utilizando el lenguaje de programación LabVIEW Graphics. A través de la selección de una cámara que cumpla con los requerimientos de este proyecto, se seleccionó la Kinect para Windows V2, cuyas ventajas principales son tener un sensor de profundidad activo basado en luz que permite el acceso a los datos representados por un marco simple, esto facilitó el desarrollo de algoritmos. Esta aplicación tiene como objetivo reducir considerablemente el tiempo de evaluación de posturas forzadas, además de ofrecer ventajas como el monitoreo en tiempo real de las condiciones de exposición del operador a riesgos ergonómicos por mala postura y movimientos repetitivos. El software tiene menos variación en las puntuaciones obtenidas por los algoritmos que los analistas que utilizan métodos tradicionales. Se concluye que, con la implementación de la aplicación basada en visión

 OPEN ACCESS



artificial para la evaluación se logró mayor eficiencia en el proceso, en términos de factores de tiempo y precisión, obteniendo resultados confiables a partir del uso de estas tecnologías.

Palabras Clave: *evaluación de posturas, visión artificial, LabVIEW, RULA.*

1. Introducción

Hoy en día, a pesar de los tremendos avances en la tecnología basada en la automatización, todavía se necesita hacer mucho trabajo manualmente y requiere mucho esfuerzo físico. Cada vez más, el trabajo manual causa dolor de espalda, fatiga del cuello, hinchazón de las muñecas, manos y pies, fatiga visual. (OIT).

Un aspecto muy importante de la ergonomía es que está centrado en el ser humano. Las personas son más importantes que los objetos o los procesos de fabricación (ERGODEP), sin embargo, se están realizando varias investigaciones que sugieren que las intervenciones ergonómicas participativas pueden ser beneficiosas desde el punto de vista de la empresa en el ámbito económico. [1]

El principio ergonómico básico que regirá las intervenciones es adaptar el funcionamiento a las capacidades y límites del usuario, y no al revés. [2]. RULA (Rapid Upper Extremity Assessment), fue creado por la Dra. Lynn McAtamney y el Profesor E. Nigel Corlett, en 1993 en la Universidad de Nottingham en el Reino Unido. [3] y es un método para evaluar el estado musculoesquelético debido a la postura, la función muscular y las fuerzas que actúan sobre el cuerpo humano.

Incorporar los avances tecnológicos en las actividades de evaluación de puestos no es nada nuevo, inicialmente se utilizaron cámaras de video para estandarizar los procesos de fabricación mediante el estudio de métodos y plazos. Se utilizaron para evaluar la idoneidad de la creación de prototipos virtuales para respaldar la evaluación de factores humanos / ergonomía (HFE) mediante la aplicación de realidad aumentada (AR) y entornos virtuales (VE). [4], llegando a evaluar también la mantenibilidad en acciones repetitivas. [5]

Con el uso de la visión artificial se permite identificar puntos de seguimiento para determinar los ángulos formados por los elementos del cuerpo humano. Esta tecnología se enlaza con los sistemas de control como LabVIEW para el procesamiento de imágenes en tiempos de respuesta bastante bajos.

La principal motivación de este estudio fue la integración de un sistema de evaluación de la postura en tiempo real en un entorno de trabajo para un gran número de trabajadores. Este método se basa en la observación directa de la posición del operador



en el momento de la tarea, mediante el análisis de las posturas que realizan los miembros superiores, cuello, espalda y piernas, integración visual artificial.

2. Materiales y Métodos

El propósito de este estudio fue realizar una valoración en tiempo real de las posturas que toma el operador mientras realiza una actividad, una aplicación que fue desarrollada en base a la tecnología de cámara Kinect que permite recolectar datos que está representada por un esqueleto, para desarrollar una secuencia que permite evaluar la actividad.

Además de la descripción, se realizaron dos experimentos para confirmar que la aplicación se desarrolló en las condiciones esperadas en el laboratorio y funcionó in situ. El experimento tiene como objetivo cuantificar el grado de error al diseñar algoritmos para calcular los ángulos de las articulaciones y dar los puntos correspondientes. La evaluación in situ presenta condiciones ambientales más complejas debido a las limitaciones existentes que afectan al estudio tales como: falta de luz, ambiente desordenado, limitaciones de espacio en las que no se puede ubicar la ubicación de los objetos, sistema de adquisición artificial. Los resultados obtenidos en este estudio se compararon con las puntuaciones obtenidas tradicionalmente por los evaluadores en el campo de la ergonomía.

2.1. Cálculo de algoritmos

[6] determina si los datos proporcionados por Kinect son sensibles a las condiciones ambientales. Ocurre debido a la postura del desempeño, la posición del trabajador en relación con la cámara y la posición de trabajo, lo que da como resultado datos inexactos. Para calibrar estos factores, se utilizó una secuencia de corrección para controlar estas condiciones.

Para desarrollar algoritmos para el análisis del método Rula, se propuso analizar los datos proporcionados por Kinect, los datos que proporcionan un marco que consta de coordenadas 3D (x, y, z), debido a que es mejor calcular los ángulos en los que el cuerpo se divide en planos biológicos como: (ver Fig. 1)

[7] identifica los siguientes planos:

1. Plano Sagital, el plano perpendicular a la línea recta que conecta la cadera derecha e izquierda y pasa por el centro de la cadera.
2. Plano Frontal, el plano vertical que pasa a través de la cadera derecha e izquierda.

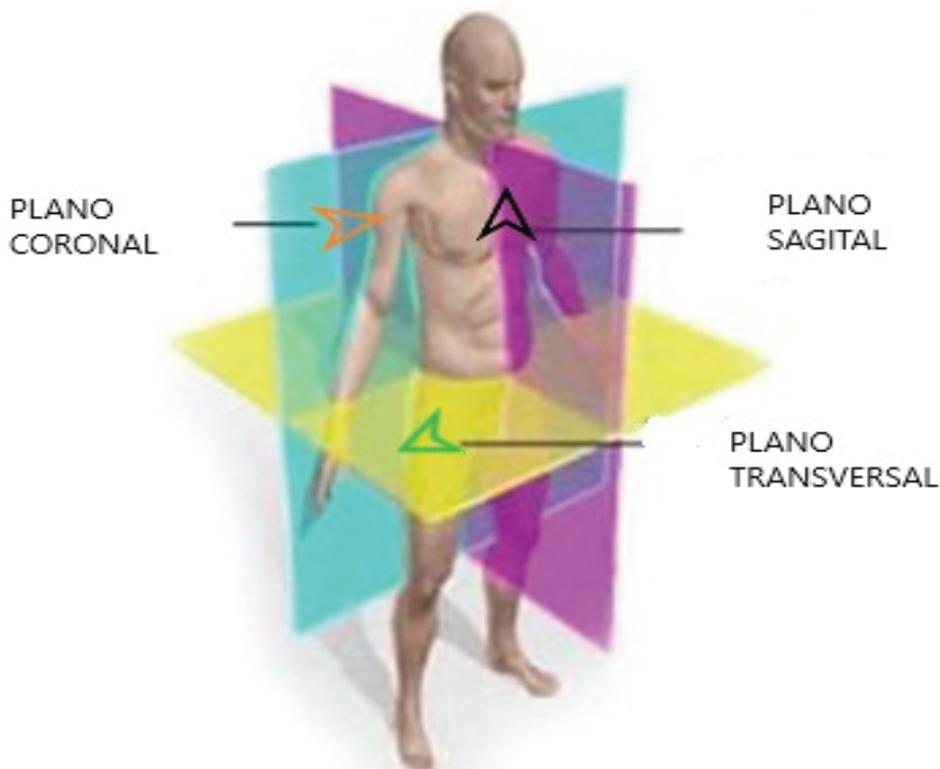


Figure 1

Principales cuadrantes biomecánicos de cuerpo.

3. Plano Transversal, plano horizontal que pasa a través de la cadera derecha e izquierda.
4. Plano Troncal, plano determinado a través del cuello y la cadera derecha e izquierda.

El algoritmo implementado para extraer información de Kinect se muestra en la Figura 2, presentando al usuario una interfaz que mejora la interpretación de los resultados, como lo han demostrado los estudios de [8].

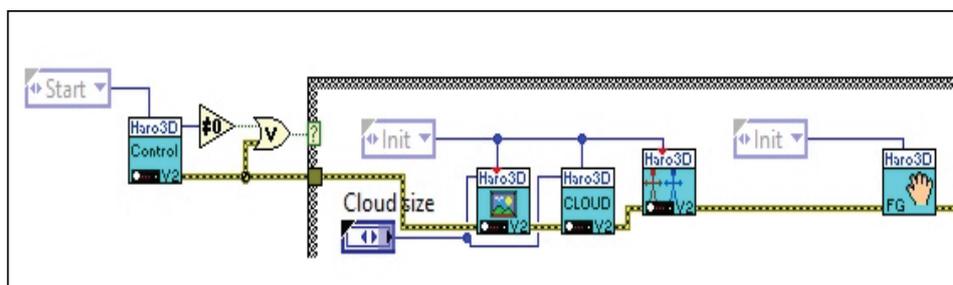


Figure 2

Estructura para inicializar la Kinect.



Donde Kinect V2 usando la aplicación de Kinect Control, inicializa y obtiene características de la Kinect V2; seguidamente está conectado a tres aplicaciones que son:

Imagen Kinect. Obtiene una imagen en color de Kinect, con un tamaño fijo de 1080 x 1900 píxeles.

Cloud Kinect. Recopila datos de la nube de Kinect y los envía a los eventos de usuario de LabVIEW, proporcionando coordenadas espaciales 3D (X, Y, Z).

Bodies Kinect. Control y adquisición de órganos El Kinect V2 es una matriz de 6 elementos donde cada elemento proporciona las características del cuerpo detectado con 25 articulaciones. Estas funciones funcionan con el comando config, ya que se pueden desarrollar varias funciones simultáneamente.

Para procesar los datos obtenidos de Kinect, se han desarrollado algoritmos que primero calculan la distancia de los puntos seleccionados y luego se procede a calcular el ángulo necesario para calcular el ángulo de cada parte que consta de la ecuación por el método RULA. Como sigue.

2.2. Ángulo de brazos

Se toma como referencia la distancia máxima, compuesta por los puntos 4 "SHOULDER LEFT" y 21 "HAND TIP LEFT", para el lado izquierdo, para el derecho, puntos 8 "SHOULDER RIGTH" y 23 "HAND TIP RIGTH" para el cálculo posterior del desplazamiento, con la distancia anterior, se configuran los parámetros para formar un triángulo rectángulo en el eje de coordenadas para calcular el ángulo de movimiento requerido para poder fijar la punta del brazo. Las variaciones como la abducción, la elevación, ambos movimientos juntos o un buen soporte del brazo se implementan de forma selectiva según la extensión y el procesamiento de datos en la aplicación.

2.3. Ángulo de la muñeca

Para calcular la muñeca, se toman dos planos principales: el eje z horizontal y los ejes de coordenadas. Las coordenadas z se utilizan para calcular la distancia a la muñeca formada por puntos, 10 "WRIST RIGTH" y "HAND TIP RIGTH" para el lado derecho, lo correspondiente al izquierdo los puntos 6 "Wrist Left" y 21 "HAND TIP RIGTH LEFT". Efectuando el cálculo correspondiente de la distancia con la coordenada z para luego encontrar el ángulo y su valor correspondiente al plano sagital o al eje vertical.



2.4. Ángulo de los antebrazos

Para desarrollar un algoritmo para calcular el ángulo de trabajo del antebrazo, se calculó la distancia entre los puntos de 9 "ELBOW RIGTH" y 23 "HAND TIP RIGTH" del lado derecho, y para el izquierdo 5 "ELBOW LEFT" y 21 "HAND TIP LEFT" los mismo que toman las coordenadas del eje de las ordenadas para realizar el cálculo, de la distancia de desplazamiento del antebrazo con lo cual se otorga la puntuación definida por el método, las calificaciones de variantes de calificación se ingresan manualmente seleccionando los parámetros de trabajo normal o si existen cruce entre antebrazos.

2.5. Ángulo del tronco

Para desarrollar este algoritmo se toma como referencia el plano sagital, trabaja con coordenadas z, tiene puntos clave para calcular la distancia 0 "SPINE BASE" Y 20 "SPINE SHOULDER", existiendo el mismo procedimiento para evaluar el ángulo con el cálculo de la distancia entre estos dos puntos utilizando el registro de desplazamiento de ajuste de distancia calculado, para enviarlo al algoritmo de cálculo del ángulo de desplazamiento de la columna.

2.6. Ángulo de cuello

La coordenada z del plano horizontal proporcionada por Kinect nos permite desarrollar un algoritmo que calcula la distancia delimitada por los puntos 2 "NECK" Y 3 "HEAD", luego de calcular la distancia de recorrido, obtenemos los lados del triángulo rectángulo, calculando así el ángulo para el punto en cuestión, como en los casos anteriores, herramientas selectivamente calificadas como: inclinación, giro, ambas opciones al mismo tiempo o si el cuello se estira, el resultado se agregará automáticamente al resultado para llegar al resultado final.

2.7. Procedimiento experimental

En este apartado se explicará cómo se desarrolló el análisis en el laboratorio para la validación de datos que se obtuvieron del desarrollo de los algoritmos, la valoración del método Rula se la llevo bajo dos analogías, la una de manera tradicional con el apoyo de 15 profesionales en la materia de ergonomía y la segunda mediante la aplicación desarrollada en lenguaje de programación G de LabVIEW, con la participación de personas de sexo masculino con un rango de edad de (23 a 35) años, una



altura de entre (1,65 a 1,79) m, con un peso corporal de (62 a 70,3) Kg. Uno de los principales inconvenientes en el desarrollo de la simulación mediante la aplicación, fue realizar pruebas con manipulación de cargas las mismas que presentaban ocurrencia de oclusiones. Se llevó a cabo la realización de movimientos repetitivos que consistían en una posición frontal a la cámara para luego bajar a posición inicial donde la caja se encontraba sobre el piso y subir hasta el alcance máximo de cada individuo con las dos manos simulando tener una caja esta actividad se la determino con la finalidad de que Kinect pueda detectar sin interferencia alguna al individuo y se lleve a cabo el cálculo de la puntuación, de la misma manera se llevó a cabo el experimento con la simulación de los mismo movimientos con una caja de dimensiones 0 cm de alto por 50 cm de ancho por 30 de profundidad.

Estado sin carga: para evitar cualquier tipo de oclusión, esta operación se simula donde los sujetos tienen que mostrarse frente al Kinect como recomienda Microsoft más allá de una distancia de 2.5 m, que es la distancia óptima para procesar y simular los datos de la acción de elevación de la caja y llevarla a la altura máxima donde se ha desarrollado en gran medida el análisis del método rula, ya que no presenta ningún problema de desarrollo. carrocería con Kinect con una probada solidez de funcionamiento en óptimas condiciones. (Ver Figura 3.)

Estado con carga: durante esta simulación con operación de caja, teniendo la misma condición que en la simulación de desembalaje con Kinect frente a un individuo, el algoritmo de reconocimiento de Kinect no permite la recolección de datos óptima porque fue creada. mordida de la articulación. Como resultado, al realizar condiciones del mundo real en una estación de trabajo, el Kinect se movió 30 grados para simular adecuadamente condiciones extremas, como entornos abarrotados o con espacio limitado.

Como resultado, el riesgo de oclusión es mayor. Cada escaneo se realiza durante 25 segundos, seguido en tiempo real con cada iteración para discernir movimientos imperceptibles de la electrónica, como modificadores de calidad para todo el grupo A y grupo B, identificar estos movimientos mediante selección automática, para no perder datos debido a ruido o retraso causado por los factores mencionados anteriormente.

3. Resultados

3.1. Evaluación experimental in situ

En el siguiente apartado se realizó el experimento en los talleres de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en el área de soldadura se evaluó a un trabajador con las



Figure 3

Puntos referenciales de evaluación sin carga.

siguientes condiciones: (edad: 26 años), altura (1,67 metros), peso (65 Kg), la estación evaluada fue grabada por una cámara Kinect for Windows V2, la cual debido a la disposición del espacio de trabajo se colocó en condiciones óptimas para realizar el análisis, pero al tener la presencia de objetos y equipos de protección personal, producían oclusiones momentáneas.

La búsqueda de un ángulo y una distancia en la cual se obtenga la mejor adquisición de datos, cada monitoreo se realizó tres veces en un lapso de 30 segundos, donde la variación de puntuación obtenida en tiempo real presentaba una gráfica tiempo vs valoración final, obteniendo el resultado al final de cada periodo el promedio de todas las puntuaciones calculadas por la aplicación. En consecuencia, la evaluación de los 15 profesionales se realizó de una manera más subjetiva, debido al punto de vista de cada uno al determinar la evaluación de forma independiente para cada parte del cuerpo requerido por el método RULA, en tal caso, el puntaje puede encontrarse ligeramente



Figure 4

Puntos referenciales de evaluación con carga.

diferente debido a los parámetros de evaluación de cada uno de los analistas y la aplicación.

3.2. Análisis de datos

El análisis de datos se realiza comparando los datos obtenidos entre la Kinect y los datos de evaluación de los analistas, como se mencionó (Diego y Alcaide, 2014). Una vez identificados los movimientos del operador, nos dispusimos a ingresar información en el sistema para analizar el proceso y los riesgos encontrados en el desarrollo de esta tarea. (Ver. Fig. 5.)

Se argumenta que las actitudes básicas practicadas en el lugar de trabajo son el aspecto que necesita ser analizado o identificado como que contiene los riesgos más cómodos. (Ver. Fig. 6.)

Al colocar la videocámara en la posición focal óptima para analizar las operaciones a realizar, se inicia la monitorización en tiempo real, que se refleja en la curva generada



Figure 5

Evaluación del puesto de soldadura.

por los movimientos del operador. Durante 30 segundos, Rula anota la salida todos los lunes con la grabación de movimiento que genera más procesamiento de datos a partir del desarrollo del método tradicional. (Ver Fig. 7).

Los datos obtenidos de estas 3 pruebas se reportan en las siguientes curvas, se reflejan en el documento .xls, con variaciones por ser reportes en tiempo real, los picos débiles se deben a error humano. El operador se encuentra sin hacer ningún movimiento. si la tendencia se mantiene por las condiciones iniciales dadas en la solicitud, esta evaluación es más objetiva porque el método analítico es más preciso por el seguimiento instantáneo. (Ver. Fig.5)

Así, la puntuación final de cada prueba se obtiene en tiempo real y por analistas representativos. (Ver Figuras. 9 y 10)

Mediante pruebas estadísticas se determinó que el proceso corresponde a los supuestos de normalidad, y se verificaron los supuestos mediante un diseño DCA donde los datos analizados por la aplicación son correctos y se obtiene el mismo resultado. De acuerdo con el análisis de varianza para determinar la efectividad del programa contra los analistas, se realizaron pruebas de Bonnett y Levene que muestran que el programa tiene menos varianza que los puntajes de los analistas.

Por tanto, las operaciones del programa producen de forma más objetiva y en tiempo real, a diferencia de los analizadores sintácticos, donde el proceso es más subjetivo, en el que solo un momento del proceso es desarrollado por el análisis del operador. (ver Figura 11)



Figure 6

Configuración de parámetros para el análisis RULA.

4. Conclusiones

Este trabajo se basa en el diseño y desarrollo de algoritmos para realizar de forma independiente una evaluación de los riesgos ergonómicos en un puesto de trabajo usando el método RULA basado en visión artificial, mejorando así el tiempo en la investigación de factores de riesgo. El sistema genera reportes en tiempo real permitiendo trazabilidad en el proceso y estos resultados se pueden analizar simultáneamente en formato .xls (Excel). Además, se implementa una interfaz de monitoreo continuo (GUI) que interactúe con los usuarios de una manera simple y fácil de usar.

Las pruebas de campo generan los mejores resultados porque existe una leve diferencia en la recolección de datos de la aplicación y confirman la información obtenida por los analistas, se ha verificado estadísticamente que los resultados obtenidos son los mismos y presenta los datos con mejores condiciones de procesamiento.

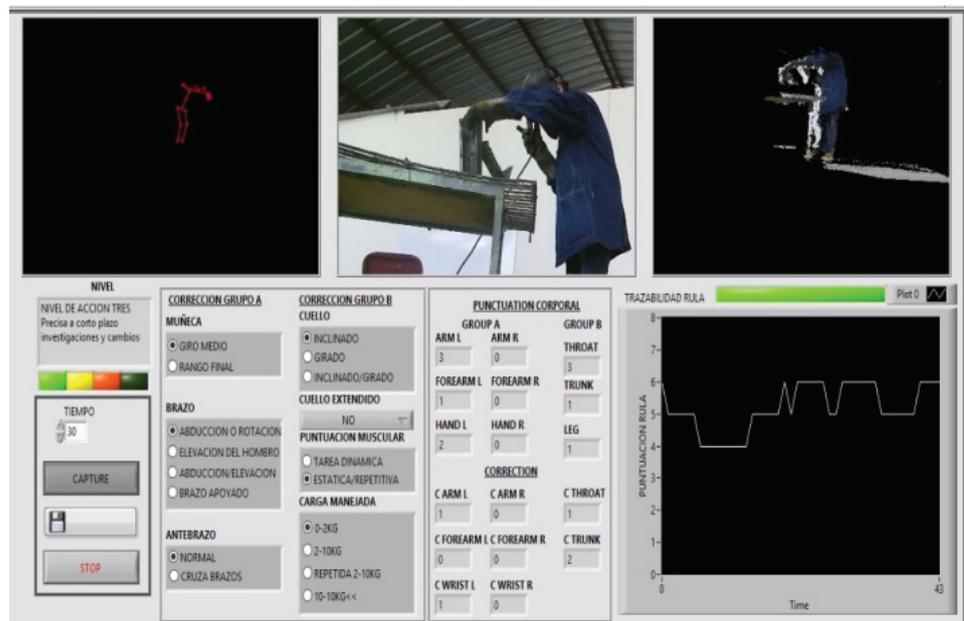


Figure 7
 Interfaz de parámetros de análisis RULA.

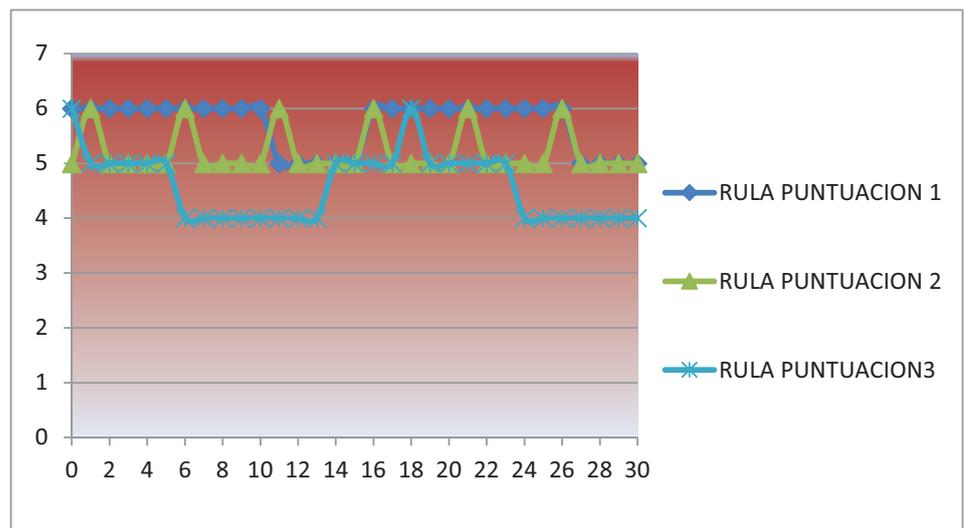


Figure 8
 Registro de calificación en tiempo real.

Finalmente, el amplio alcance de la investigación futura en las áreas de ergonomía y salud ocupacional está bien definido, quedando pendientes las mejoras relacionadas con la cantidad de iluminación, ángulos de enfoque y velocidad de respuesta.

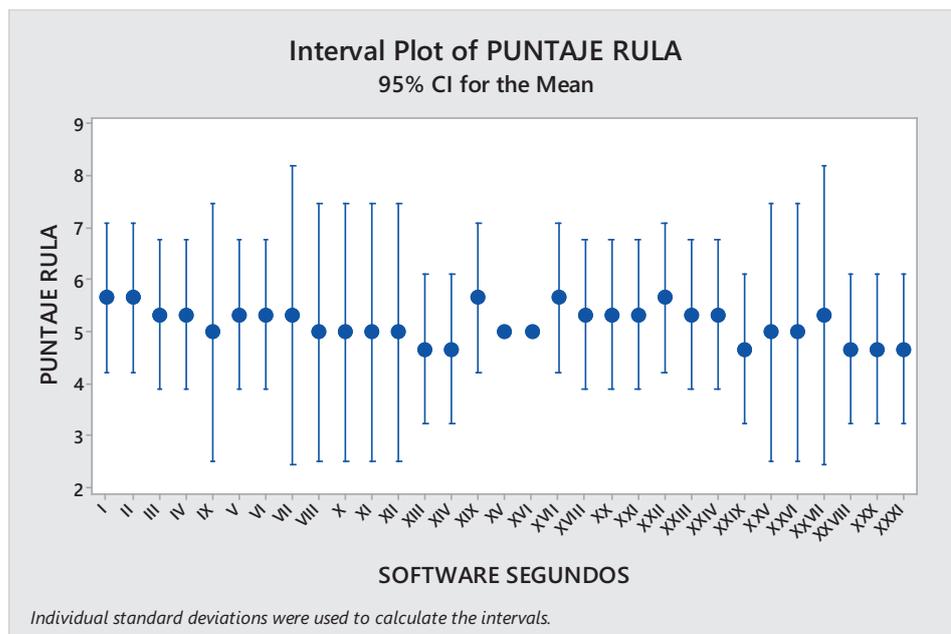


Figure 9

Resultados de las pruebas mediante el software.

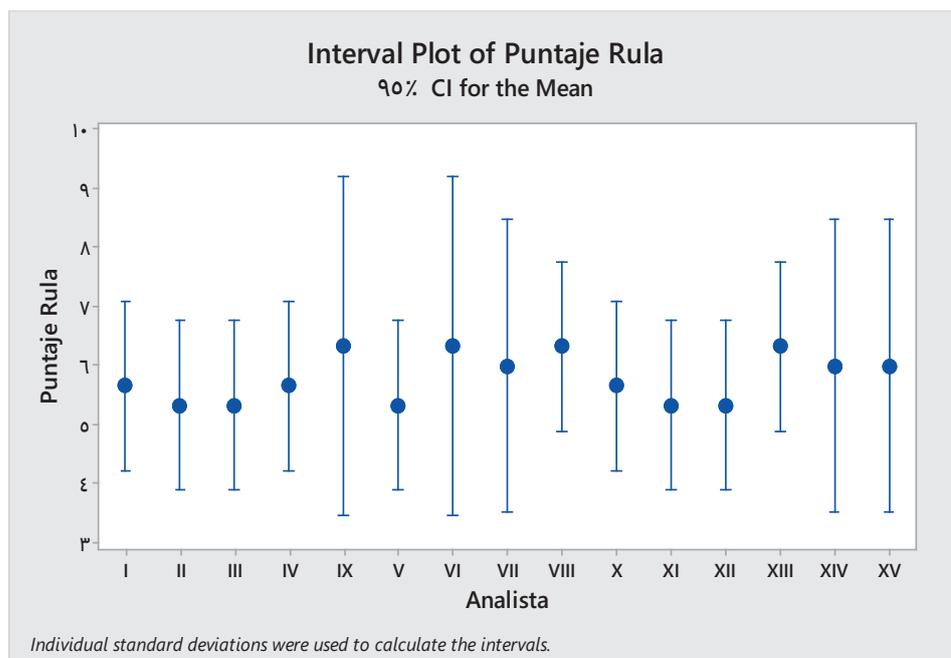


Figure 10

Resultados de las pruebas mediante analistas.

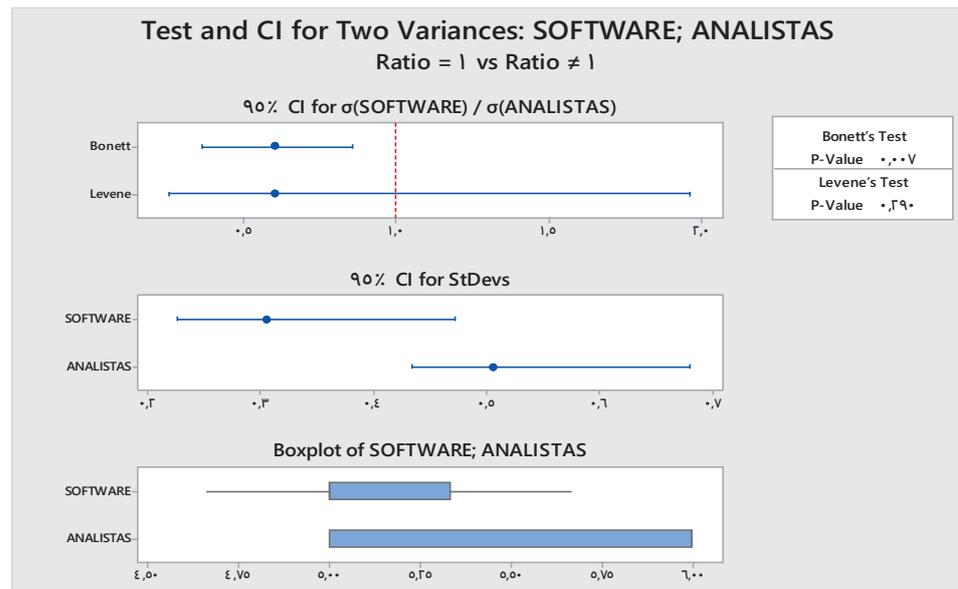


Figure 11

Análisis Software vs Analistas.

References

- [1] Aromaa S, Väänänen K. Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design. *Applied Ergonomics*. 2016;56(1):11–18.
- [2] Diego JA, Alcaide MJ. Using kinect sensor in observational methods for assessing postures. *Applied Ergonomics*. 2014;45(1):976–985.
- [3] Mcatamney L, Corlett E. A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders *Applied Ergonomics*. 1993;24(2):91–99.
- [4] Mondelo P, Barrau P, Gregorio E. *Ergonomía 1 Fundamentos*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya; 1994.
- [5] Organización Internacional del Trabajo. La salud y la seguridad en el trabajo. Organización Internacional del Trabajo [Internet]; n.d. Available from: http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/ergo/ergoa.htm#l
- [6] Plantard P, Auvinet E, Le Pierres A-S, Multon F. Pose estimation with a kinect for ergonomic studies. *Evaluation of the Accuracy Using a Virtual Mannequin*. 2015;1(15).
- [7] Tompa E, Dolinschi R, Natale J. Economic evaluation of a participatory ergonomics intervention in a textile plant. *Applied Ergonomics*. 2013;44(1):480–487.
- [8] Yi FT, Jung CC, Jan YY, Yang WF. Design and evaluation of military geographical intelligence system: An ergonomics case study. *Displays*. 2018;51:36–42.