

COMPARATIVA KINECT VS MYO APLICANDO LA PRUEBA NASA-TLX EN UN ENTORNO DE RVI PARA INSPECCIÓN EN AEROGENERADORES

Daniel Cantón Enríquez

Universidad del Istmo

daniel_ce92@outlook.com

J. Jesús Arellano Pimentel

Universidad del Istmo

jjap@sandunga.unistmo.edu.mx

Miguel Ángel Hernández López

Universidad del Istmo

mahl@sandunga.unistmo.edu.mx

Francisco Aguilar Acevedo

Universidad del Istmo

aguilar.afco@sandunga.unistmo.edu.mx

Resumen

Este artículo presenta un estudio comparativo entre dos dispositivos de interacción natural de usuario que son frecuentemente utilizados en sistemas de realidad virtual inmersiva: Kinect y Myo. Cada uno de estos dispositivos es usado en un sistema de realidad virtual inmersivo enfocado a la inspección de aerogeneradores. Se realiza una evaluación de ambos empleando como principal instrumento la prueba NASA-TLX, también llamado índice de carga mental. Los resultados permiten corroborar la potencial aplicación de cualquiera de los dos dispositivos. No obstante, el dispositivo Myo aventaja ligeramente al dispositivo Kinect como el más idóneo.

Palabras Claves: Energía eólica, interacción natural de usuario, NASA-TLX, realidad virtual inmersiva.

Abstract

This paper presents a comparative study between two natural user interaction devices that are frequently used in immersive virtual reality systems: Kinect and Myo. Each of these devices is used in an immersive virtual reality system focused on the inspection of wind turbines. An evaluation of both using the NASA-TLX test, also called mental load index, is the main instrument. The results allow to corroborate the potential application of either device. However, the Myo device slightly outstrips the Kinect device as the most suitable.

Keywords: *Immersive virtual reality, NASA-TLX, natural user interaction, wind energy.*

1. Introducción

De acuerdo con [Montuschi, 2014] la Interacción Humano Computadora (IHC) involucra el diseño, implementación y evaluación de nuevas interfaces para mejorar la interacción entre los dispositivos electrónicos y los usuarios. Una interfaz adaptable, intuitiva y natural puede reducir en gran medida el modelo mental entre un humano y la forma en la que una máquina o sistema computacional puede realizar una tarea determinada. La investigación dentro de la IHC ha permitido la construcción simuladores de Realidad Virtual (RV) empleados en la capacitación de personas para que sean actores efectivos en ciertos sectores como el industrial o el energético, entre otros [Denning, 2006].

Uno de los dispositivos de visualización e interacción de mayor uso, para sistemas de RV Inmersiva (RVI), es el casco Oculus Rift, de hecho algunos investigadores como [Hilfert, 2016] lo consideran un elemento primordial en los sistemas RVI, y algunos otros como [Freina, 2015] enlistan una gran cantidad de publicaciones científicas que involucran el uso de este dispositivo en sistemas de RVI con propósitos educativos. Aunado al uso de los cascos como el Oculus Rift, estudios como los de [Steed, 2016] y [Valkov, 2016] han concluido que emplear avatares incrementa y mejora la percepción de inmersión por parte de los usuarios.

No obstante, no todo gira en torno a la inmersión, también la interacción juega un papel preponderante en los sistemas de RVI cuando son empleados en la

instrucción o capacitación de personas para que se desempeñen en ciertos sectores, sobre todo aquellas actividades que durante el proceso de enseñanza presentan un potencial riesgo físico para los involucrados, por ejemplo, en el sector energético donde se trabaja con altos voltajes [Flores, 2014].

En investigaciones recientes sobresalen tres dispositivos que permiten la interacción natural de usuario a través de gestos con entornos de RVI, estos son: Kinect, Myo y Leap Motion. Por ejemplo, [Holmes, 2016] emplean el casco Oculus Rift DK1 como dispositivo de inmersión y los dispositivos Kinect V2, Leap Motion y Myo como dispositivos de interacción natural de usuario, su sistema de RVI está enfocado a la rehabilitación de personas con accidentes cardiovasculares. En [Han, 2017] utilizan el casco Oculus Rift DK2 como dispositivo de inmersión y el Leap Motion como medio de interacción natural de usuario para instruir a futuros operarios de máquinas CNC. Por su parte [Jiménez, 2016] desarrollaron un entorno de RVI que integra el casco Oculus Rift DK2 y Kinect V1 con el propósito de interactuar en tiempo real con modelos 3D altamente detallados de sitios culturales arquitectónicos.

Respecto al campo del sector eólico no son tan comunes los trabajos que aborden el uso de la RVI, ya sea con fines comerciales o didácticos, a pesar de que según [APREAN, 2007] los parques eólicos requieren de personal altamente calificado para su operación y mantenimiento, ya que existen riesgos que ponen en peligro la integridad física de quienes ahí laboran. En la industria eólica se sabe de dos casos donde aprovechan el potencial de la RV con fines de difusión y comercialización: la aplicación móvil "ACCIONA Virtual Experience" [ACCIONA, 2015] y la "experiencia de realidad virtual 100% inmersiva" [ACCIONA, 2016]; ambos fueron desarrollados por la empresa española de energías renovables ACCIONA. En el primer caso se utilizó un teléfono inteligente conjuntamente con unos lentes de realidad virtual, en el segundo caso los dispositivos utilizados fueron las gafas de realidad virtual y dos mandos inalámbricos para moverse por un recorrido virtual.

Otros dos trabajos relacionados con el sector eólico son [Trujillo, 2015], en donde se presenta la virtualización tridimensional de un parque eólico con fines

didácticos, empleando el casco Oculus Rift DK2 como medio de inmersión, conjuntamente con el control de la consola XBox 360 como medio de interacción, además de [Hernández, 2015] que presenta un videojuego didáctico para la manipulación virtual de un aerogenerador a través de gestos reconocidos por el SDK del Kinect V1. Este último trabajo si bien no consiste en un RVI si cuenta con una visualización 3D del aerogenerador, siendo la idea principal la interacción natural de usuario a través de gestos de manos y brazos.

Además de los trabajos anteriores, también es importante mencionar algunas investigaciones cuyo eje central es contrastar el uso de diferentes dispositivos de interacción natural de usuario en entornos 3D. Por ejemplo, en [Vokorokos, 2016] comparan los resultados de un experimento sobre la eficiencia en el reconocimiento de cinco diferentes gestos, en cinco videojuegos distintos diseñados para alguno de los tres dispositivos antes mencionados: Leap Motion, Kinect & Myo. Por su parte, la investigación realizada por [Sánchez, 2017] prueban la viabilidad de utilizar comandos gestuales y de voz en una sala de operaciones estéril, reportan resultados de ocho aspectos comparativos entre los dispositivos Kinect, Leap Motion y Myo con comandos de voz, dado que se trata de una laparoscopia en una intervención quirúrgica dichos aspectos son: exactitud, confort, desconexión, inicialización, intuitividad, esfuerzo físico, velocidad y facilidad de uso.

Con base en lo anterior, el propósito del presente artículo es realizar un estudio comparativo entre dos de los tres sensores más utilizados en la interacción natural de usuario: el Kinect y el Myo; esto dentro de un entorno de RVI que emplea el casco Oculus Rift DK2 como dispositivo de inmersión, además de avatares para reforzar la sensación de presencia durante la inspección de un aerogenerador eólico. Dicho estudio comparativo toma como principal recurso la prueba NASA-TLX, también llamada índice de carga de trabajo o índice de carga mental [NASA-TLX, 2011]. Además, en el presente trabajo se realiza un conteo de la repetitividad de los gestos realizados por los usuarios al momento de interactuar con el sistema de RVI, esto para verificar la facilidad de uso en cada gesto. Los resultados, en concordancia con algunos trabajos relacionados, permiten corroborar la potencial

aplicación de los dispositivos de interacción natural de usuario en los sistemas de realidad virtual inmersivos, tomando en cuenta las principales ventajas y desventajas inherentes a la propia tecnología de cada dispositivo y a la valoración subjetiva de los usuarios finales. Las diferencias encontradas entre los dispositivos estudiados muestran que el dispositivo Myo aventaja ligeramente al dispositivo Kinect.

2. Métodos

La figura 1 esquematiza la metodología que se empleó en el presente trabajo. Se realizaron cuatro fases generales: desarrollo del entorno de RVI en dos versiones, preparación de la prueba NASA-TLX, uso de los gestos para la interacción natural de usuario (entrenamiento y tareas), así como valoración de la prueba NASA-TLX y la generación de resultados. En las siguientes subsecciones se describirán a más a detalle cada una de estas fases.

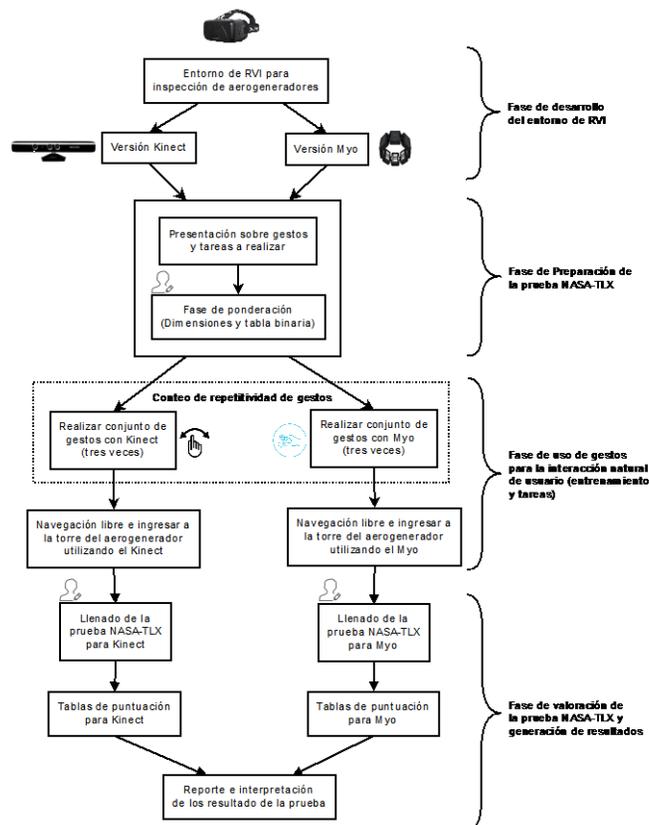


Figura 1 Metodología de trabajo.

Desarrollo del Sistema de RVI

Durante la primera fase de la metodología de trabajo se empleó el modelo incremental de desarrollo de software [Pressman, 2010]. El primer incremento consistió en crear el ambiente de RVI empleando la plataforma Unity conjuntamente con el casco Oculus Rift, ver figura 2a y figura 2b, para ello fue necesario importar el modelo genérico de un aerogenerador 3D diseñado en la herramienta SketchUp. El segundo incremento integró un par de avatares articulados al ambiente (figura 2C), estos fueron diseñados en Adobe Fuse CC y animados con la plataforma en línea Mixamo, para finalmente importarlos en la plataforma Unity, listos para ser manejados en primera persona.

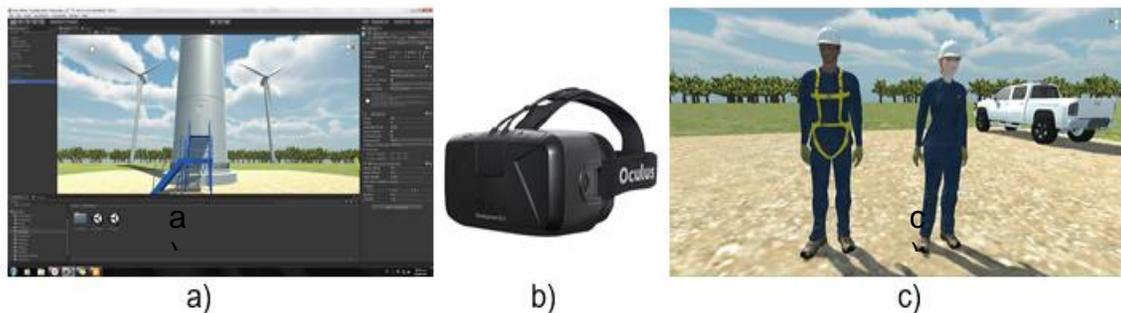


Figura 2 Sistema de RVI en su fase de desarrollo.

El tercer incremento incorporó los gestos del Kinect para manipular las acciones de uno de los avatares en el ambiente, ver figura 3a, con este incremento se generó la versión de Kinect. Por último, el cuarto incremento adicionó al segundo incremento la capacidad de reconocer los gestos del Myo para manipular el avatar, de esta forma se obtuvo la versión de Myo. Una vez probadas y depuradas ambas versiones se generaron las condiciones para realizar las pruebas con usuarios finales.

Preparación de la Prueba NASA-TLX

La prueba NASA-TLX distingue seis dimensiones de carga mental [NASA-TLX, 2011]. En la tabla 1 se presentan cada una de las dimensiones con una breve descripción de lo que subjetivamente miden.

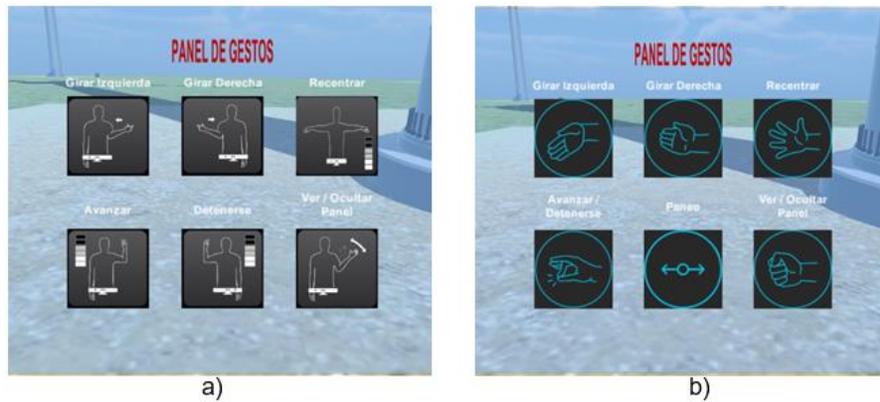


Figura 3 Paneles de gestos.

Tabla 1 Dimensiones de la prueba NASA-TLX, Fuente: [Rubio, 2008].

Dimensión	Descripción de lo medido
Exigencia Mental (M)	Cantidad de actividad mental y perceptiva que requiere la tarea (por ejemplo: pensar, decidir, calcular, recordar, mirar, buscar, etc).
Exigencia Física (F)	Cantidad de actividad física que requiere la tarea (por ejemplo: pulsar, presionar, girar, deslizar, etc).
Exigencia Temporal (T)	Nivel de presión temporal percibida. Razón entre el tiempo requerido y el disponible.
Rendimiento (R)	Hasta qué punto el sujeto se siente insatisfecho con su nivel de rendimiento.
Esfuerzo (E)	Grado de esfuerzo mental y físico que tiene que realizar el sujeto para obtener su nivel de rendimiento.
Nivel de Frustración (Fr)	Hasta qué punto el sujeto se siente inseguro, estresado, irritado, descontento, etc. durante la realización de la tarea.

En la segunda fase se tomó como referencia el trabajo de [Rubio, 2008] respecto al empleo del procedimiento de la prueba NASA-TLX en sus dos etapas de aplicación: una de obtención de la importancia inicial que tiene cada dimensión de carga mental para cada individuo (usuario), y otra de evaluación. En la primera etapa, los usuarios realizan todas las comparaciones binarias entre las seis dimensiones, señalando cuál de las dos les parece mayor fuente de carga mental en una tabla binaria, ver figura 4, en total siempre se realizan 15 comparaciones. No obstante, para, que el usuario tenga una mejor comprensión de lo que va a realizar antes, durante y después de usar el sistema de RVI, primeramente se le presentan los paneles de gestos de las dos versiones del sistema, ver figura 3, y agrandes rasgos se describen las taras a realizar en él. También se le da una breve explicación de la prueba NASA-TLX y sus dimensiones. Esto contribuye a

facilitar el llenado de la tabla binaria. La segunda etapa de evaluación de la prueba se aborda posteriormente.

M - F	F - T	T - R	M: Exigencia Mental
M - T	F - E	T - Fr	F: Exigencia Física
M - E	F - R	E - R	T: Exigencia Temporal
M - R	F - Fr	E - Fr	R: Rendimiento
M - Fr	T - E	R - Fr	E: Esfuerzo
			Fr: Nivel de Frustración

Figura 4 Tabla binaria de las seis dimensiones (la llena el usuario).

Uso de Gestos en Entrenamiento y Tareas

La fase de uso de gestos para la interacción natural de usuario también consistió en dos etapas: entrenamiento de los gestos y tareas a realizar. Durante la etapa de entrenamiento se solicitó a los usuarios que realizaran cada uno de los gestos tres veces, contabilizando el número de intentos fallidos para lograr que el sistema los reconociera de forma correcta. Esto se realizó para ambas versiones del sistema de RVI con todos los usuarios. Durante la etapa de tareas a realizar se pidió a los usuarios ejecutar dos tareas, en la primera deberían recorrer el ambiente de RVI libremente, en la segunda su misión consistiría en entrar a la base del aerogenerador, para lo cual era necesario ubicar las escaleras en la base, subirlas e introducirse en la torre pasando por la puerta de acceso. Ambas tareas se realizaron con la versión Myo y con la versión de Kinect, figuras 5a y 5b.



a) Usando el Myo.



b) Usando el Kinect.

Figura 5 Tareas realizadas por los usuarios: navegación libre e introducirse a la torre.

Valoración de la Prueba NASA-TLX

Una vez realizadas las etapas de llenado de la tabla binaria y las tareas dentro del sistema de RVI, el protocolo de la prueba NASA-TLX señala que los usuarios deben estimar, en una escala del 0 al 100, dividida en intervalos de 5 unidades, la carga mental de cada una de las 6 dimensiones, ver figura 6 (usuario llena una por cada dispositivo). Con los datos obtenidos a través de la tabla binaria y la etapa de evaluación de la prueba es posible calcular un índice global de la carga mental de la tarea aplicando la ecuación 1.

$$IC = (\sum p_i X_i) / 15 \quad (1)$$

Donde:

- IC Índice de Carga
- p_i Peso obtenido para cada dimensión en la tabla binaria (ponderación)
- X_i Puntuación obtenida por la dimensión en la etapa de evaluación
- 15 Número de comparaciones binarias realizadas

Exigencia Mental			
¿Cuánta actividad mental y perceptiva fue necesaria? ¿Es una tarea difícil o fácil, simple o compleja, pesada o ligera?			
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>			
Baja	Alta		
Exigencia Física			
¿Cuánta actividad física fue necesaria? ¿Se trata de una tarea difícil o fácil, lenta o rápida, relajada o cansada?			
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>			
Baja	Alta		
Exigencia Temporal			
¿Cuánta presión de tiempo sintió debido al ritmo al cual sucedían las tareas o elementos de las tareas? ¿Era el ritmo lento y pausado, o rápido y frenético?			
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>			
Baja	Alta		
Rendimiento			
¿Hasta qué punto cree que ha tenido éxito en los objetivos establecidos por el investigador (o por Ud. mismo)? ¿Cuál es su grado de satisfacción con el nivel de ejecución?			
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>			
Bueno	Malo		
Esfuerzo			
¿En qué medida ha tenido que trabajar (física o mentalmente) para alcanzar su nivel de resultados?			
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>			
Bajo	Alto		
Nivel de Frustración			
Durante la tarea, ¿en qué medida se ha sentido inseguro, desalentado, irritado, tenso o preocupado?			
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>			
Bajo	Alto		

Figura 6 Tabla de puntuación para evaluación de las seis dimensiones.

3. Resultados

La prueba se aplicó a una muestra de once usuarios, cuatro mujeres y siete hombres, con edades que van desde los 20 a los 40 años de edad. De ellos, tres son profesores-investigadores de la Universidad del Istmo, cuatro son estudiantes de la Maestría en Ciencias en Energía Eólica, y cuatro son estudiantes de licenciatura y posibles aspirantes a ingresar a dicha maestría. Todos ellos son integrantes y colaboradores del proyecto P08 "Diseño y construcción de un aerogenerador experimental con capacidad menor que 5 kW y desarrollo de software de simulación en realidad virtual, con fines didácticos" del CEMIE-Eólico [CEMIE, 2016]. La elección de estos usuarios se debe a que en un futuro el sistema será utilizado como material didáctico en asignaturas como Introducción a la tecnología de los aerogeneradores y Seminario de tecnología de aerogeneradores [UNISTMO, 2017].

La repetitividad, es decir, el número de fallos al realizar un gesto correctamente se muestra en la figura 7. Se puede observar que, a excepción del gesto para el paneo, todos los gestos relacionados con el dispositivo Kinect requirieron un menor número de intentos para ser reconocidos. Este resultado puede atribuirse a que los gestos asociados al Kinect son claramente diferenciables por el usuario y en consecuencia por el sistema de RVI, mientras que los gestos asociados al Myo dependen en gran medida de la habilidad del usuario para controlar el dispositivo, ya que en diversas ocasiones los usuarios generaban el gesto correcto e inmediatamente después otro gesto incorrecto haciendo que el sistema de RVI procesara el último gesto.

La figura 8 presenta las medias del índice ponderado global de la carga mental al emplear cada uno de los dispositivos de interacción (Kinect y Myo). En dicha figura se puede observar que la carga mental en promedio (considerando las tres categorías de usuarios) es ligeramente mayor cuando se utiliza el dispositivo Kinect que cuando se utiliza el dispositivo Myo. Algo interesante de observar es que conforme aumenta el nivel de formación académica, disminuye la percepción de la carga mental sin importar del dispositivo de interacción natural de usuario que se utilice. Evidentemente el nivel de formación está relacionado con la edad, y

en esta prueba se observó que a mayor edad del usuario, más atención prestó en las indicaciones previas y durante el uso del sistema de RVI, lo cual parece influir significativamente con la percepción de carga mental.

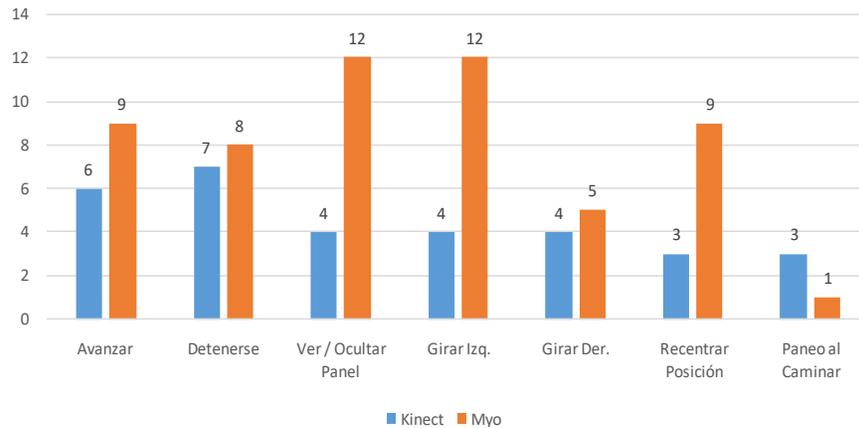


Figura 7 Repetitividad (fallos) al realizar los gestos.

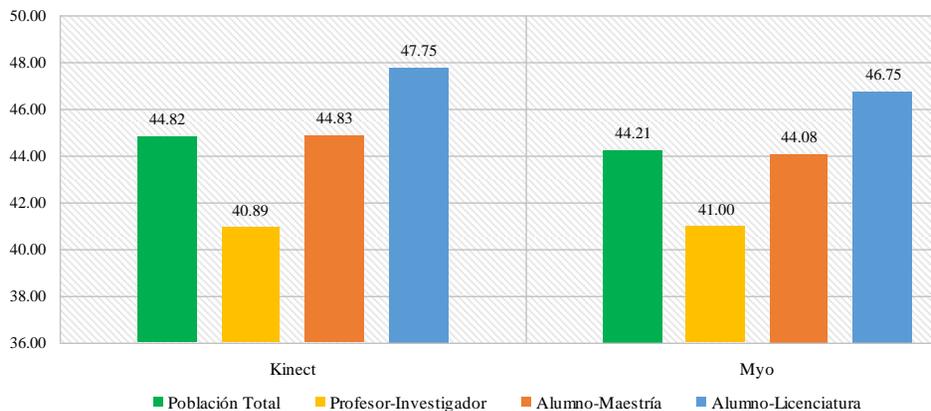


Figura 8 Resultados del índice ponderado global de la carga mental.

La figura 9 presenta más a detalle las medias en cada una de las dimensiones de la carga mental considerando la totalidad de los usuarios. Es claro que la exigencia mental es la dimensión que presenta una mayor carga mental, seguida de la dimensión del esfuerzo, sin importar el tipo de dispositivo. Estos resultados son comprensibles si se toma en consideración que los usuarios probaron por primera vez el sistema de RVI, por tal motivo necesitaban recordar cuáles eran los gestos y qué acción se asociaba a cada uno. Además, en la segunda tarea tenían que buscar las escaleras y tomar decisiones sobre qué gestos utilizar y en qué

instante ejecutarlos para lograr el objetivo de introducirse a la torre. Por otro lado, las dimensiones de exigencia física y rendimiento resultaron con una menor carga mental, por lo tanto, se puede inferir que ambos dispositivos de interacción natural de usuario facilitaron el desempeño de los usuarios para lograr las tareas encomendadas. En este sentido, el dispositivo Kinect presentó ligeramente una menor carga mental que el dispositivo Myo, esto es consistente con los resultados de la repetitividad.

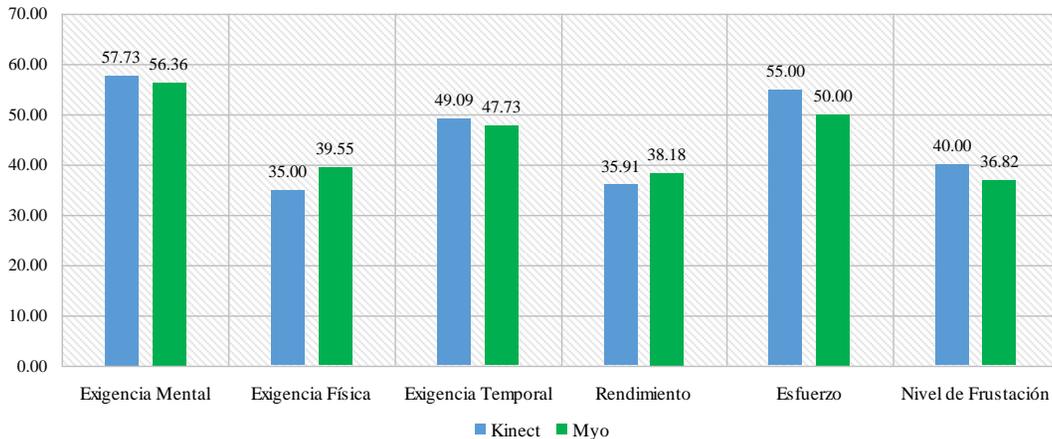


Figura 9 Resultados por cada dimensión de la prueba NASA-TLX.

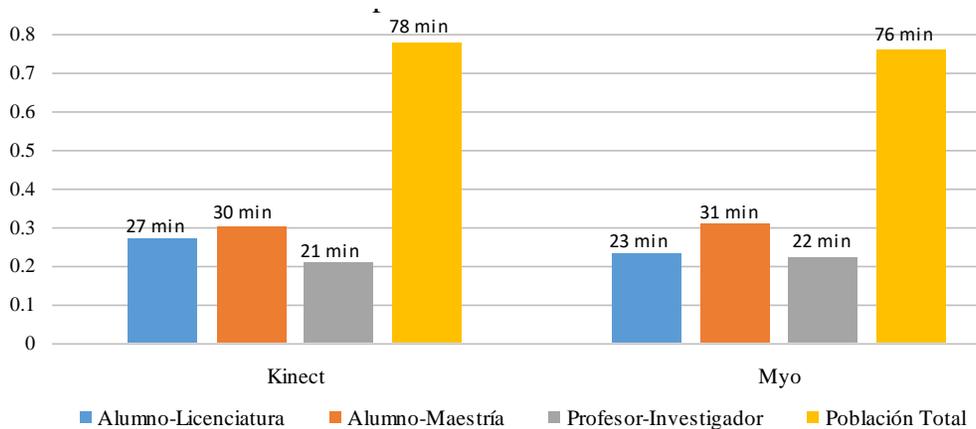


Figura 10 Tiempos promedio de los usuarios para realizar las tareas.

Por otro lado, si se observan los resultados de la dimensión del nivel de frustración de la figura 9 parecerían no coincidir si se contrastan con los resultados de la repetitividad. Sin embargo, cobran sentido si se considera el tiempo promedio

invertido por los usuarios para realizar los gestos, ver figura 10, ya que estos requirieron ligeramente una menor cantidad de tiempo para realizar los asociados al Myo, a pesar de que fallaron en mayor frecuencia para que los gestos se reconocieran correctamente. Esto indica que es más rápido para el usuario realizar un gesto con el Myo que con el Kinect.

4. Discusión

El propósito del sistema de RVI sobre el que se realizaron las pruebas es de tipo didáctico, orientado a la capacitación de personas para realizar la tarea de inspección de aerogeneradores de forma segura. Por tal motivo se utiliza el casco de RVI Oculus Rift, tal como lo sugiere la investigación realizada por [Freina, 2015]. Además, de acuerdo con [Flores, 2014], el uso de la RV como recurso didáctico y de capacitación posee un potencial enorme al proveer de un medio seguro de aprendizaje los estudiantes, sobre todo cuando lo que se debe aprender representa un riesgo físico. De manera específica, se puede mencionar que el estar físicamente cerca o dentro de un aerogenerador conlleva el riesgo de sufrir un accidente mortal [APREAN, 2007], [Hernández, 2015].

Por otro lado, cuando se utiliza un sistema de RVI el usuario tiene colocado sobre su cabeza un casco que le impide ver el entorno físico que lo rodea, lo que hace difícil la interacción a través de dispositivos convencionales, aquí es donde los dispositivos de interacción natural de usuario a través de gestos se convierten en la solución ideal a este problema. Sin embargo, pueden surgir algunas cuestiones respecto a ¿cuál dispositivo usar de los mencionados en los trabajos relacionados, el Kinect, el Myo, o el Leap Motion?, ¿cuáles son las ventajas y desventajas de elegir uno de estos? En el caso particular de este trabajo solo se contaba con dos de ellos (Kinect y Myo), por tal motivo el estudio se centró en tratar de responder, a través de la repetitividad de gestos y la prueba NASA-TLX, a las dos preguntas anteriores. Dicha prueba se eligió tomando como referencia, entre otras publicaciones relacionadas, a [Barrera, Díaz, Busto, Romero & Domínguez, 2014], ya que abordan la valoración de un entorno de RV e interacción humano-robot empleando la prueba NASA-TLX para evaluarlo.

Además, los trabajos encontrados que realizan algún análisis comparativo de los dispositivos de interés, por ejemplo [Vokorokos, 2016] y [Sánchez, 2017] no emplean sistemas de RVI, ni tampoco están enfocados al sector eólico. Es por ello que resultan de utilidad los resultados aquí obtenidos. En este sentido, con base en los tiempos promedios requeridos para realizar las tareas y los resultados la valoración de la prueba NASA-TLX, en primera instancia pareciera que cualquiera de los dos dispositivos representa una buena elección, ya que no existe una gran diferencia significativa entre ambos. Sin embargo, el Myo dio ligeramente mejores resultados en cuanto a tiempo para terminar las tareas y carga mental se refiere, no así en los resultados de la repetitividad. Aunque este último resultado puede mejorar si los usuarios utilizan el dispositivo Myo con mayor frecuencia.

También existen ciertas ventajas y desventajas que son inherentes a la propia tecnología de cada dispositivo. Por un lado, una de principales ventajas observadas al usar el Kinect es que se adapta con mayor facilidad a la fisonomía del usuario, tan solo habrá que colocarse más cerca o más lejos del dispositivo para un reconocimiento de gestos apropiado, mientras que con el Myo el brazo del usuario no puede ser muy delgado o muy grueso, lo que dificulta portarlo de forma correcta para un reconocimiento certero. Por otro lado el dispositivo Myo ofrece la ventaja de no ser sensible a la luz ambiental, ni a la presencia de otros usuarios cerca del dispositivo, mientras que para usar el dispositivo Kinect la iluminación debe estar controlada y no sufrir variaciones, además de que solo el usuario que va a emplear el sistema de RVI debe estar frente al dispositivo, de lo contrario podrían reconocerse los gestos de las personas que no están portando el casco Oculus Rift.

Cabe mencionar que en el estudio realizado por [Sánchez, 2017], también resulta mejor valorado el uso del dispositivo Myo respecto a los dispositivos Kinect y Leap Motion, aunque el Myo no se empleo solo, este fue utilizado conjuntamente con comandos de voz. Mientras que en el trabajo realizado [Vokorokos, 2016], sus resultados dejan mejor posicionado al Leap Motion, pero el Myo sale mejor posicionado con respecto al Kinect. No obstante, concluyen que la elección del

dispositivo idóneo está en función de la aplicación final y de la valoración subjetiva de los usuarios.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentó un estudio comparativo entre los dispositivos de interacción natural de usuario Kinect y Myo usados en un entorno de realidad virtual inmersiva enfocado a la inspección de aerogeneradores. Aplicando para tal fin la prueba NASA-TLX en sus dos etapas. Los resultados, en concordancia con algunos trabajos relacionados, permiten corroborar la potencial aplicación de los dispositivos estudiados y su uso en función de la aplicación final, aunado las principales ventajas y desventajas inherentes a la propia tecnología de cada dispositivo.

No obstante, el dispositivo Myo aventaja ligeramente al Kinect en cuatro de las seis dimensiones de la carga mental, donde dos son atribuidas a las exigencias impuestas a los usuarios: exigencia mental y exigencia temporal; y dos son atribuidas a la interacción de los usuarios con la tarea: esfuerzo y nivel de frustración [Barrera, 2014]. En tanto que el dispositivo Kinect solo aventaja ligeramente al Myo en dos de las seis dimensiones: exigencia y rendimiento; una atribuida a las exigencias y otra a la interacción, respectivamente. Una ventaja más del Myo ante el Kinect que quedó de manifiesto en el conteo de repetitividad es el uso del giroscopio integrado en el Myo, el cual es de gran ayuda en la navegación del avatar al momento de caminar. Sin embargo, una desventaja que se presenta es controlar el dispositivo Myo para el resto de los gestos, la cual puede ser superada de manera gradual si el usuario utiliza frecuentemente el dispositivo.

Es importante señalar que ambos sistemas pueden mejorarse por separado, o incluso unir lo mejor de ambos. Una mejora que se sugiere en ambos sistemas es la creación y reconocimiento de nuevos gestos más intuitivos y fáciles de recordar para los usuarios. Así mismo, para el sistema del Kinect se propone analizar la altura y la masa del usuario permitiendo que el avatar se ajuste a sus características físicas. En lo que respecta al sistema del Myo se propone utilizar

dos brazaletes en lugar de solo uno, esto permitiría controlar más acciones tanto del avatar como del ambiente que lo rodea. Todas estas mejoras se sugieren como trabajos a futuro.

Además, cabe mencionar que la metodología planteada en este trabajo permite esbozar futuras comparaciones con otros dispositivos como el Leap Motion y los mandos inalámbricos que acompañan a algunos cascos de RVI. No obstante, y a pesar de que el Test de índice de carga ha sido probado por más de veinte años y citado en más de 4,400 estudios [NASA-TLX, 2011], contrastar los resultados de dicho Test con otros estudios de usabilidad contribuiría a obtener resultados más contundentes. Sin embargo, la comparativa con otros métodos está fuera del alcance de este artículo.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] ACCIONA, Experiencias Inmersivas, 2015: <https://www.accion.com/es/salaprensa/afondo/2015/diciembre/experiencias-inmersivas/>.
- [2] ACCIONA E. ACCIONA, Energía presenta una experiencia de realidad virtual inmersiva en la feria eólica más importante de Norteamérica. ACCIONA, 2016: <http://www.accion.com/es/noticias/accion-presenta-experiencia-realidad-virtual-inmersiva-feria-eolica-importante-norteamerica/>.
- [3] APREAN, Guía de Buenas Prácticas Preventivas en el Sector de la Energía Eólica. Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales. Sevilla, España 2007.
- [4] Barrera, G., Díaz, L., Busto, J., Romero, L., & Domínguez, O., Realización de una evaluación de un sistema de interacción físico Hombre - robot con base en el protocolo nasa tlx. Educación y Salud Boletín Científico de Ciencias de la Salud del ICESA. Vol. 3, No. 5, 2014: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ICESA/article/view/792/791>.
- [5] CEMIE-Eólico. P08, Diseño y construcción de un aerogenerador experimental con capacidad menor que 5 kW y desarrollo de software de simulación en realidad virtual, con fines didácticos. CEMIE-Eólico, 2017: <http://cemiee.iie.org.mx/Proyectos/Proyecto-P08>.

- [6] Denning, P. J., & Malone, T. W., Coordination. *Interactive Computation: The New Paradigm*. Springer. 415-439. Berlín, Alemania, 2006. Doi:10.1007/3-540-34874-3_16
- [7] Flores, J. A., Camarena P., & Avalos, E., La realidad virtual, una tecnología innovadora aplicable al proceso de enseñanza de los estudiantes de ingeniería. *Revista Apertura*. Vol. 6, No. 2, 2014.
- [8] Freina, L. & Ott, M., A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State Of The Art and Perspectives. eLSE Conference, Bucharest, April 2015.
- [9] Han, I., Ryu, J., & Kim, M., Prototyping Training Program in Immersive Virtual Learning Environment with Head Mounted Displays and Touchless Interfaces for Hearing-Impaired Learners. *Educational Technology International*. Vol. 18, No. 1, pp. 49-71, 2017.
- [10] Hernández, M., Hernández, M., Arellano, J., & Toledo, G., Videojuego didáctico empleando el Kinect para la manipulación virtual de un aerogenerador. *Pistas Educativas*. No. 112, 2015.
- [11] Hilfert, T., & König, M. Low-cost virtual reality environment for engineering and construction, *Visualization in Engineering*. 4:2, 2016. Doi: 10.1186/s40327-015-0031-5.
- [12] Holmes, D., Charles, D., Morrow, P., McClean, S., & McDonough, S. Usability and performance of Leap Motion and Oculus Rift for upper arm virtual reality stroke rehabilitation. 11th International Conference on Disability, Virtual Reality & Associated Technologies. Los Angeles, California, USA, 2016.
- [13] Jiménez, B., Morabito, D., & Remondino, F. Access to complex reality-based 3D models using virtual reality solutions. *Journal of Cultural Heritage*, 2016. Doi: 10.1016/j.culher.2016.09.003.
- [14] Montuschi, P., Sanna, A., Lamberti, F., & Paravati, G. Human-Computer Interaction: Present and Future Trends. *Computing Now*, 7(9), online, 2014.
- [15] Pressman, R., *Ingeniería del Software: un enfoque práctico*. Séptima Edición. Mc Graw-Hill. México, D.F, 2010.

- [16] NASA-TLX. Online NASA-TLX Beta, 2011: <http://www.nasatlx.com>.
- [17] Rubio, S., Díaz, E., Martín, J., & Luceño, L. Carga mental en vigilantes de seguridad. Diferencias por sexo y capacidad atencional. *EduPsykhé. Revista de psicología y educación*. Vol. 7, No. 2, pp. 213-230, 2008.
- [18] Sánchez, F., Sánchez, J., Moyano, J., Pérez, E., & Maestre, J., Use of natural user interfaces for image navigation during laparoscopic surgery: initial experience. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, 2017. Doi: 10.1080/13645706.2017.1304964.
- [19] Steed, A., Pan, Y., Zisch, F., & Steptoe, W. The Impact of a Self-Avatar on Cognitive Load in Immersive Virtual Reality. *IEEE Virtual Reality Conference 2016*, 67-76, 2016.
- [20] Trujillo, K., Toledo, G., Arellano, J., & Hernández, M., Virtualización tridimensional interactiva de un parque eólico con fines didácticos. *Pistas Educativas*. No. 112, 2015.
- [21] UNISTMO, Maestría en Ciencias en Energía Eólica. Universidad del Istmo, 2017. Url: http://www.unistmo.edu.mx/m_eolica.html
- [22] Valkov, D., Martens, J. & Hinrichs, K., Evaluation of the Effect of a Virtual Avatar's Representation on Distance Perception in Immersive Virtual Environments. *IEEE Virtual Reality Conference 2016*, pp. 305-306, 2016.
- [23] Vokorokos, L., Mihal'ov, J., & Chovancová, E., Motion Sensors: Gesticulation Efficiency Across Multiple Platforms. *20th Jubilee IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems*. Budapest, Hungría, 2016.