

Sistema de realidad virtual para la industria aeroespacial

Virtual reality training system for aerospace industry

FAVELA-OLIVAS, Ruben Alonso*† & SANCHEZ-SANTIAGO, Pedro

Colegio Nueva Vizcaya

ID 1^{er} Autor: *Ruben Alonso, Favela-Olivas* / ORC ID: 0000-0001-9993-9023

ID 1^{er} Coautor: *Pedro, Sanchez-Santiago* / ORC ID: 0000-0002-0010-3590

DOI: 10.35429/JID.2020.10.4.14.22

Recibido 23 de Marzo, 2020; Aceptado 26 de Junio, 2020

Resumen

Este documento describe el proceso de diseño y desarrollo de un sistema de realidad virtual hecho a la medida de los procesos de manufactura de productos aeroespaciales a través de la metodología TRIZ con el objetivo de eliminar la larga curva de aprendizaje del personal operativo. Se identificaron los problemas críticos de ensamble que requieren meses de práctica y experiencia para cumplir con las expectativas de Calidad y Velocidad en los procesos de manufactura. La solución consiste en la concepción de un ambiente de simulación virtual con la introducción de tecnología 3D, interfaces interactivas y software avanzados que permiten al usuario adquirir el conocimiento y habilidades en cuestión de horas. La naturaleza de fabricación de aviones ejecutivos depende del factor humano debido a la alta complejidad de componentes ensamblados a mano a causa de la criticidad del producto y la alta variedad y especialización de diferentes componentes con distintas geometrías que se ensamblan de menor a mayor tamaño para finalmente construir un avión que mide 63 ft por 20 ft (e.g. Cessna Sovereign+) que consiste en 200 mil sub-ensambles y detalles que requieren de exactitud y perfección para entregar un producto que cumple con las expectativas de funcionalidad y calidad.

Innovacion TRIZ, Sistemas de realidad Virtual en manufactura, Curva de aprendizaje

Resumen

This document describes the process of design and development of a virtual reality system tailored to the Manufacturing environment of Aerospace industry using TRIZ methodology with the objective of reducing the learning curve in direct labor. There were identified the critical problems in Manufacturing that describe the longest timing of learning curve. The solution consists of conceiving a Virtual reality system introducing 3D technologies, interactive interfaces and Advanced software to help the user to learn faster and acquire the knowledge and skills in hours. Aircraft Manufacturing environment relies on human factor due to the high complexity of craftsmanship and product controls, severity and a high variety and specialization of many different components with different geometries that are assembled from minor to major assemblies to finally build an aerostructure sizing 63 ft x 20 ft (e.g. Cessna Sovereign+) that consists of 200 thousands sub-assemblies and details that require precision and perfection to manufacture a product that meets functional and quality expectations.

TRIZ innovation, Virtual Reality systems in Manufacturing, Learning curve

Citación: FAVELA-OLIVAS, Ruben Alonso & SANCHEZ-SANTIAGO, Pedro. Sistema de realidad virtual para la industria aeroespacial. Revista del Diseño Innovativo. 2020, 4-10: 14-22

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: rubenfavela@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad, la complejidad y alta diversidad de operaciones manuales en la Industria Aeroespacial demanda mucho conocimiento, habilidad y experiencia ya que el recurso humano es fundamental para manufacturar productos de Calidad en un ambiente de especificaciones críticas y cerradas de ingeniería. Por lo tanto, el talento y factor humano son partes clave para que los productores de aviones incrementen su producción, Calidad y dividendos.

Un operador de aero-estructuras requiere de mucho conocimiento teórico para prevenir problemas que pueden detener la línea de producción por días o semanas en el peor de los casos, ya que el retrabajo es un común denominador en la naturaleza de estos procesos y la probabilidad de que una aero-estructura se manufacture con cero defectos es de un 12% bajo condiciones de personal experimentado (aproximadamente 2 años) y un 0% con personal menor a 6 meses.

En México, la rotación de personal promedio es de un 4.89% mensual (INDEX 2019, p. 5), esto significa que, en un periodo de un año, un 59% de la gente será remplazada por gente completamente nueva. Por lo tanto, los niveles de Calidad y eficiencia se ven afectados directamente por la naturaleza de este comportamiento. En esta investigación, se introducen conceptos tecnológicos y de innovación para resolver esta problemática a través de la implementación de sistemas de realidad virtual que aceleran el aprendizaje desde un ambiente controlado donde las personas se someten a múltiples variables, casos y toma de decisiones para que al interactuar con el sistema inteligente y aumentado se vaya aprendiendo de una manera estandarizada y con las mejores prácticas de manufactura el conocimiento y habilidad motriz básicas para prevenir fallas de Calidad, Seguridad y Eficiencia. Esto, a través de consistentes repeticiones, el conocimiento pasa de una actividad consciente al inconsciente, permitiéndole al personal desarrollar reacciones automáticas en base al conocimiento expuesto para tomar las mejores decisiones de métodos de manufactura y solución de problemas (troubleshooting) durante el ambiente real de producción teniendo el respaldo necesario para salvaguardar el producto.

La hipótesis principal de la investigación consiste en demostrar que las nuevas tecnologías y la realidad virtual impactan considerablemente el aprendizaje en los sistemas de manufactura. Para lo cual se detectaron las principales fuentes del conocimiento que impactan los procesos de manufactura y bajo estos conocimientos claves se diseñaron módulos en realidad virtual que impacten en el aprendizaje.

El diseño de las variables y factores de ruido a los que se exponen los operadores de ensamble en este Sistema de Realidad Virtual se dedujeron a través de la observación de los procesos de ensamble, análisis de riesgo de manufactura, probabilidades de falla por características críticas de proceso y por las Características de producto claves especificadas en la ingeniería de diseño. Se utilizaron metodologías como FMEA, Pareto, Análisis de sobrevivencia y probabilidad de falla, ergonomía, DFA/DFM y algoritmos de agrupación de datos (data-mining & clustering) para encontrar las variables claves que se hacen presentes en el ambiente de manufactura a los que se expone el personal nuevo que impactan en el 95% de los problemas de Calidad, Ergonomía y Velocidad.

Después de localizar las 12 familias claves y los 48 fenómenos de ensamble que afectan la curva de aprendizaje, se utilizaron metodologías de Diseño de Experimentos fraccionados y de señal-ruido, análisis de correlación y superficie de respuesta, TRIZ y solución de problemas avanzados para optimizar y robustecer los métodos de manufactura y el diseño de pruebas para evaluar y enseñar al personal en el ambiente interactivo 3D. En la ejecución del Sistema Virtual, se seleccionaron los ensambles representativos para cada una de las variables y se procesaron a través de herramientas CAD para modelar en 3D la Fábrica, las herramientas, fixturas, aero-estructuras, etc. Que se utilizan para simular el ambiente de producción. En el caso del sistema interactivo, se instalaron sensores de movimiento a través de "Leap Motion" y "Oculus Rift", para detectar el movimiento de la persona e introducirlo al ambiente 3D en tiempo real y poder interactuar con los objetos CAD.

El desarrollo de las pruebas en ambiente virtual se llevó a cabo a través de programación orientada a objetos en Unity para conectar específicos movimientos de la persona con la selección de herramientas, detección física de las piezas, comunicación con el ambiente 3D, así como la retroalimentación del sistema cuando ocurren omisiones al método de manufactura ya sea por posicionamiento de las manos que afectan Seguridad o errores que ocasionaran defectos en las piezas.

El sistema cuenta con el conocimiento del proceso de manufactura e información que inteligentemente va desplegando cuando los errores van ocurriendo durante el aprendizaje interactivo y lleva registro de los problemas para finalmente calificar cada prueba y proporcionar una evaluación objetiva y concluir si la prueba fue exitosamente aprobada o no. Las pruebas fueron secuenciadas estratégicamente para que el personal no pueda aprender una nueva técnica si previamente no ha demostrado la habilidad y conocimiento en las pruebas anteriores. Se desarrolló una base de datos que captura toda la información de las pruebas para llevar control de las áreas de oportunidad y las habilidades adquiridas para finalmente decidir cuando una persona está lista para pasar al ambiente productivo.

El dispositivo de Realidad Virtual cuenta con un vasto nivel de pruebas e interacciones que a una persona experta en el sistema y con un alto grado de entendimiento del proceso de manufactura le tomaría 4 horas terminar el entrenamiento, esto significa, que se cuenta con suficiente material para asegurar que el sistema cuenta con una buena herramienta de evaluación para pronosticar si una persona se desempeñará adecuadamente en un ambiente real.

Descripción del método

El estudio consiste en comparar dos universos, 1) el estado actual que se basa en el entrenamiento en aula más el tiempo que le conlleva al personal aprender en el proceso de manufactura con el principio de “trial-error” en oposición.

2) sistema propuesto de realidad virtual que en adición al entrenamiento en aula se incluyen los módulos en 3D que interactúan con los usuarios para mostrarles en un simulador las condiciones de manufactura y los problemas que se suscitaran una vez que estén en el proceso de ensamble ya que previamente se entiende en que fallan y este sistema promueve el conocimiento y la habilidad con anticipación al “Trial-error”.

Para evaluar el sistema de realidad virtual en comparación con la enseñanza en aula tradicional se definió que en un periodo de 6 meses se evaluarán los resultados del personal nuevo en las áreas piloto de implementación del sistema de realidad virtual. Los participantes serán 20 personas de nuevo ingreso que se someterán al entrenamiento en realidad virtual que competirán en contra del historial conocido de que las personas que se entrenan bajo condiciones tradicionales toman 9 meses para adquirir la habilidad y mantener una eficiencia del 95% y un 5% de defectos por problemas de habilidad.

En esta investigación se utilizaron técnicas cuantitativas para evaluar si el sistema de realidad virtual es significativamente mejor con un nivel de confianza del 95% a través de una prueba de hipótesis de distribución normal tipo Z. Las Técnicas de colección de datos consistieron en medir en un periodo de 6 meses la cantidad de defectos y tiempos de ciclo por operación por cada persona y obtener la distribución de tiempos de ciclo e ir monitoreando de esta manera la curva de aprendizaje hasta alcanzar el 95% de eficiencia y 5% de defectos.

Análisis de investigación

Durante la investigación se observaron los comportamientos y relaciones entre defectos y causas con el objetivo de agrupar en patrones y detectar a través de un análisis estratégico las variables vitales de los procesos de manufactura que hacen que la curva de aprendizaje sea tan larga. La relación causa-defecto es crítica ya que el modelo de aprendizaje está vinculado con la falta de adherencia a un estándar conocido del proceso de manufactura que se hace evidente en el producto cuando ocurre un defecto y el operador aprende a través de su error para de esta forma mejorar su desempeño.

En el Pareto (Figura 1) se describe la cantidad de defectos que ocurrieron durante el proceso de observación en un periodo de 3 meses. De las 49 categorías de defectos, el 26% de los defectos explican 91% de todos los problemas.

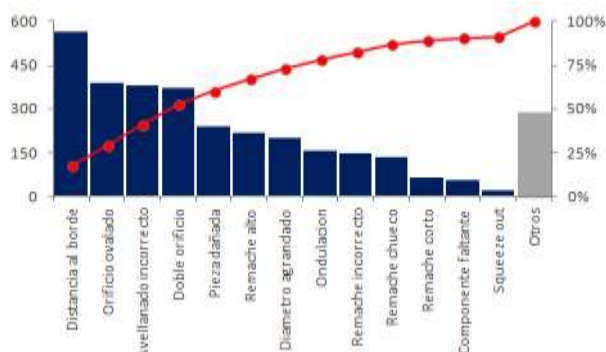


Figura 1 Pareto Cantidad de defectos
Fuente (Favela, 2019)

A través de un análisis de causa y defecto se determinó que 13 defectos son explicados por 13 causas directas donde todas ellas están relacionadas a falta de conocimiento y omisión a un estándar de manufactura con las cuales se desarrolló un dendograma (Figura 2) donde se observa que hay un 53% de similitud entre las causas y defectos agrupándose dos universos 1) relación entre herramienta y omisión de estándar y 2) habilidad de uso de herramienta y conocimiento.

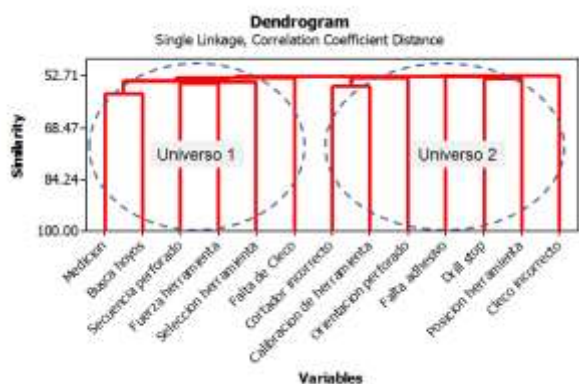


Figura 2 Dendograma para agrupación de causas y defectos
Fuente (Favela, 2019)

Cada una de las causas y defectos asociados que dificultan el aprendizaje están a su vez vinculados con el tipo de ensamble que las personas bajo aprendizaje realizan, esto se puede observar en el análisis de sensibilidad de factores (Figura 3) donde demuestra que existe una afinidad entre el grupo de causas y defectos y los tipos de ensamble.

Esto significa que cada tipo de ensamble tiene distintas mezclas de los 13 defectos mencionados formando 5 uniones de similitud entre los ensamblajes.

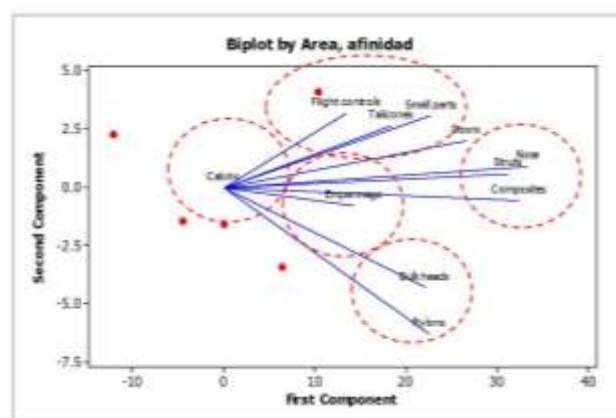


Figura 3 Análisis de sensibilidad por tipo de ensamble
Fuente (Favela, 2019)

Con el análisis de sensibilidad de las variables críticas por ensamble y las correlaciones entre causa y defecto se determinaron 14 módulos de enseñanza asociados a este tipo de fallas para prevenir la ocurrencia de la causa y así mismo la aparición de defectos explicados en la tabla 1.

Módulo de enseñanza	Ocurrencia
Uso de escalas (Enfocado a medición de distancias al borde)	76%
Uso de clecos (Curso básico de sheet metal)	52%
Avellanado	46%
Instalación de remaches BJ, XLZ y BB	42%
Instalación de Cherrys	42%
Uso de Squeezes	39%
Taladrado	39%
Team Bucking	21%
Aplicación de sellador	17%
Instalación de Hi-Lok	16%
Electrical Bonding	14%
Cutout	14%
Instalación de Huck Bolt	11%
Instalación y remoción de remaches acerados	10%

Tabla 1 Módulos de enseñanza por ocurrencia de falla y defecto
Fuente (Favela, 2019)

La curva de aprendizaje en el proceso de ensamble de aviones esta principalmente relacionado al entendimiento de las herramientas y la interacción con los defectos y sus causas mas que a la habilidad y al talento de la persona como se describe en la figura 4.

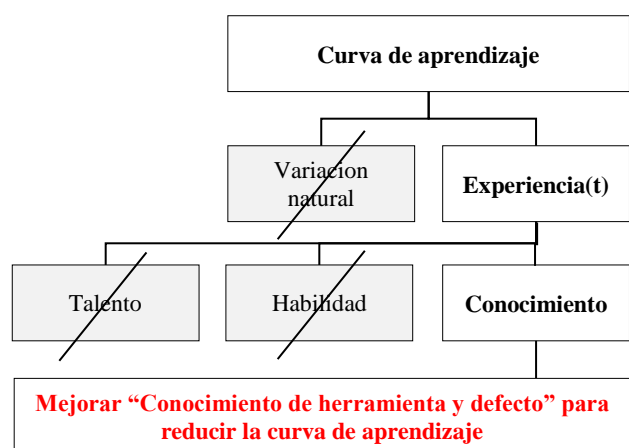


Figura 4 alcance de los módulos de enseñanza (Favela, 2019)

Definición del concepto de realidad virtual

El reto del aprendizaje para este proyecto consiste en acelerar las repeticiones de los 14 módulos de manufactura detectados como críticos para impactar el conocimiento y habilidad del personal. Para buscar la solución óptima se siguió la metodología de TRIZ a través de principios de inventiva y contradicciones; en este caso, se utilizaron como contradicciones los parámetros de velocidad (speed) y pérdida de información (Loss of information) que indican que mientras mayor repetición se gana más conocimiento, las oportunidades consisten en acelerar la velocidad del conocimiento adquirido con menor tiempo de exposición a las repeticiones. Para eso se diagnosticaron las potenciales soluciones que brindan las herramientas de TRIZ concluyendo que existen dos vertientes: 1) copiar el ambiente o 2) utilizar cambios de color o propiedades ópticas.

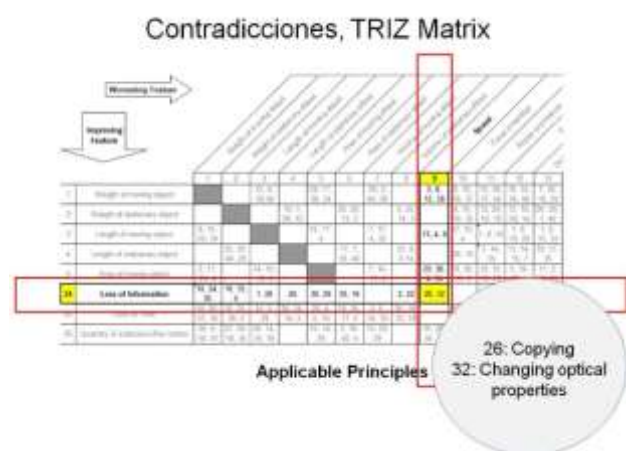


Figura 5 Análisis TRIZ para el aprendizaje (Favela, 2019)

En el caso del principio de “Copying”, TRIZ establece que puede solucionarse con tres diferentes perspectivas:

- En lugar de no disponibles, caros o frágiles objetos utilizar copias simples y baratas
 - Realidad virtual a través de computadoras
 - Escuchar audios en lugar de asistir a seminarios
- Reemplazar un objeto por copias ópticas
- En caso de que se utilicen copias ópticas, mover a infrarrojo o UV

En base a las alternativas, la solución más adecuada consiste en mover el ambiente productivo a un sistema de realidad virtual donde interactivamente se presenten los 14 módulos quedando el diagrama de TRIZ de la siguiente manera:



Figura 6 Diagrama TRIZ resultante (Favela, 2019)

Diseño del sistema de realidad virtual

El concepto consiste en una interface natural con el usuario (Natural User Interface) a través de leap motion, Unity y Oculus Rift que son dispositivos de realidad virtual disponibles en el mercado (Figura 7), estos operan de una manera similar a un videojuego donde didácticamente explican los 14 módulos de entrenamiento claves para el proceso de ensamble.

En este ambiente virtual aparecen todos los componentes en un rack o mesa para que el usuario (operador) tome virtualmente las piezas e interactúe con el software donde se les colocará preguntas y pruebas donde se valide que cumple con los requerimientos para operar en un ambiente productivo.



Figura 7 Sistema de realidad virtual Leap motion y Oculus rift (Leap motion and Oculus rift, 2019)

El sistema de entrenamiento en realidad virtual consiste en tres fases para cada módulo: 1) introducción al tópico 2) evaluación de la teoría y 3) ejercicios interactivos entre movimientos de mano, selección de herramientas, ejecución de tareas en ensambles que permitan demostrar el entendimiento y la habilidad conocida para ejecutar cada actividad. La introducción es conformada por una experiencia audiovisual donde el usuario se ve situado en un gran hangar, una voz comienza a narrar la explicación de cada tema, mientras los objetos relacionados al mismo se muestran frente al aprendiz. Los objetos tienen animaciones y dependiendo de la tarea aparece la descripción y funcionamiento de cada elemento (Figura 8).



Figura 8 Módulo de realidad virtual de taladrado (Favela, 2019)

La evaluación teórica depende de preguntas amigables que se muestran al usuario con posibles respuestas y este debe seleccionar la correcta, al finalizar el proceso se le indica al usuario si aprobó o no la evaluación.



Figura 9 Módulo de selección de herramienta de remachado (Favela, 2019)

El ejercicio interactivo (Figura 9) se refiere a la práctica para demostrar el conocimiento adquirido en la práctica y demostrar el entendimiento mecánico de la ejecución de la tarea y se muestran todas las alternativas en un ambiente simulado de producción con una planta de manufactura y ensambles reales en dimensión y complejidad que le permiten al usuario replicar el conocimiento y aprender junto con la interacción del sistema los errores cometidos en vivo y de esta manera convertir el conocimiento localizado en el ambiente consciente del cerebro en una actividad inconsciente a través de la repetición de ejercicios físicos en el ambiente simulado para finalmente dominar la relación conocimiento-práctica del sistema ayudando al operador a ejecutar la tarea correctamente y entender la parte de campo que es único en este tipo de ambientes de entrenamiento de manufactura para la Industria Aeroespacial.



Figura 10 Módulo de instalación de puertas con taladro 90 a grados (Favela, 2019)

Resultados

Durante un periodo de 6 meses se monitorearon los resultados del personal nuevo en las áreas piloto, como se puede observar en la figura 11, la Calidad del producto se ve impactada directamente y en un periodo de 4 semanas el operador es capaz de reducir en un 82%.

Los defectos que normalmente se cometían antes de la implementación del sistema por la capacitación que reciben durante la exposición virtual y los ejercicios interactivos que replican el ambiente productivo. A través de las mejoras en la Calidad del proceso la eficiencia se ve impactada también por la eliminación de retrabajos críticos que incrementan el tiempo de ciclo de las operaciones de ensamble en el proceso de “sheet metal”. Con un 95% de nivel de confianza, el simulador en realidad virtual más el aula es significativamente 4 veces más eficiente que mantener solamente el sistema tradicional validando la hipótesis principal de la investigación.

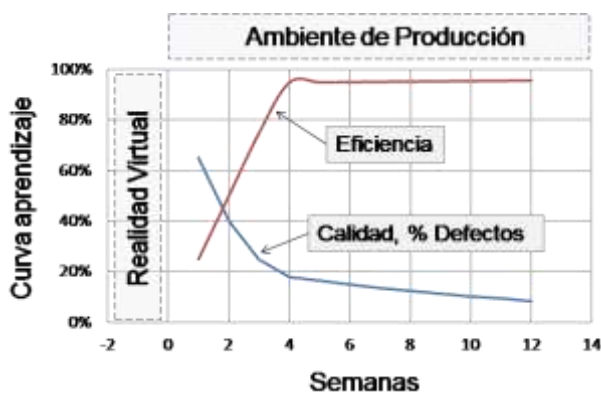


Figura 11 Resultados de implementación de realidad virtual (Favela, 2019)

Como se puede observar en la prueba Z de la figura 12, la realidad virtual es significativamente mejor que el entrenamiento tradicional.

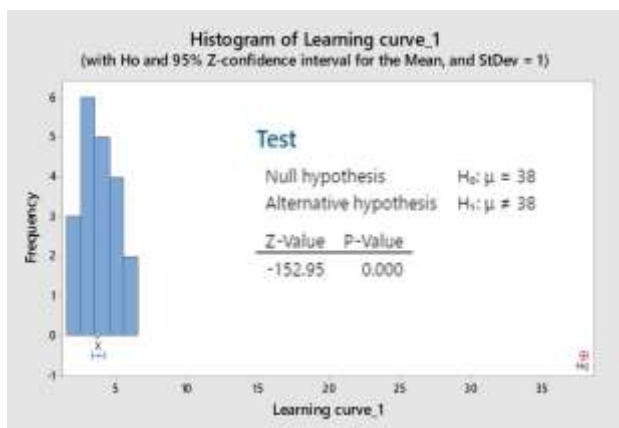


Figura 12 Prueba Z para comparar estadísticamente realidad virtual contra el estado actual (Favela, 2019)

Las líneas de entrenamiento Virtual mostraron que se necesita de 18 horas de exposición a prácticas interactivas para asegurar que el 95% de los operadores aprenden los conceptos y las habilidades básicas para prevenir los defectos y errores de ensamble en el área productiva.

El sistema de entrenamiento se implementó al 100% de capacidad en una empresa aeroespacial (Textron Aviation México) sistemas de Realidad Virtual para satisfacer una demanda de 40 operadores cada 2 meses y poder sostener cualquier crecimiento, entrenamiento y rotación de personal en el futuro.

Se incluyeron en el Sistema de entrenamiento de la Compañía los módulos relacionados a Realidad Virtual que son obligatorios para introducir a cualquier personal a una nueva área de manufactura como se muestra en los temas de entrenamiento de la Figura 13 donde los marcados en azul se refieren a los de Realidad Virtual.

Temas de entrenamiento tradicional			
P - Aplicación de soldador	P - Avelanado	P - Cable de seguridad	P - Duple en placa
P - Electrical Bond	P - Instalación de remaches Cherry	P - Instalación de H.Lok	P - Instalación de Hi-Lok
P - Instalación de Nuplate	P - Instalación de remaches acerados	P - Remachado con Sqrwan	P - Remoción de Hi-Lok
P - Remoción de remaches en placa 1	P - Remoción de remaches en placa 3	P - Remoción de remaches en placa 5	P - Remoción de remaches en placa 6
P - Remoción de remaches en placa 2	P - Remoción de remaches en placa 4	P - Remoción de remaches en placa 7	P - Taladro de 90 grados
P - Taladro y remachados	P - Tami bucking	T - Aplicación de soldador	T - Avelanado
T - Cable de seguridad	T - Curso básico de sheet metal	T - Curso básico de taladros y brocas	T - Curso de uso de la escala
T - Duple	T - Electrical Bond	T - Instalación de Nuplate	T - Instalación de remaches acerados
T - Instalación y remoción de Hi-Lok	T - Instalación y remoción de remaches Cherry	T - Rabatabu y prevención de Gap	T - Remoción de remaches
T - Remoción de remaches acerados	T - Taladrado con 90 grados	T - Tami bucking	T - Uso correcto de Sqrwan

Figura 13 Módulos de entrenamiento virtual y tradicional (Favela, 2019)

Conclusiones

El sistema de Realidad Virtual es una herramienta crítica para exponencializar el aprendizaje en los ambientes donde se necesiten enseñar tópicos referentes a habilidades e interacciones de múltiples factores.

En el caso de la Industria Aeroespacial brinda la oportunidad de romper el estereotipo clásico de remachado de placas de metal y pruebas pequeñas que no representan la realidad del ambiente productivo además de dejar de depender de lecciones impartidas por un entrenador en un aula, exámenes escritos y simplificar el manejo de bases de datos para monitorear el desempeño del personal con el entrenamiento.

Los 14 módulos después de 2 semanas de exposición al sistema pudieron lograr que en las áreas piloto de manufactura se redujeran los defectos causados por conocimiento y habilidad del proceso de ensamble en un 84% proporcionando 4 veces más velocidad en la ejecución de tareas que la manera tradicional.

Cada prueba reprobada en el ambiente simulado representa ahorros para la compañía de \$124 mil dólares en scrap, \$162 mil dólares en eficiencia y \$388 mil dólares por retrabajo todos ellos recurrentes anualmente por evitar que se convierta en un defecto y desperdicio en el ambiente productivo.

El Sistema Operativo permite rastrear el desempeño de cada operador y anclarlo con la carrera de crecimiento del personal a través del desarrollo de nuevas habilidades y mostrar versatilidades de la gente para la ejecución de nuevas tareas en distintos ensambles sin la necesidad de sistemas en base de papel que son difíciles de conservar.

Estos ambientes interactivos son el futuro de las organizaciones de manufactura ya que reducen la variación del que introduce un entrenador permitiendo además enseñar de una manera estandarizada y didáctica los temas de una mejor manera rompiendo barreras de lenguaje y proporcionando herramientas al facilitador de entrenamiento para tomar decisiones de en qué momento cada persona está lista para moverse a un ambiente productivo.

Este tipo de tecnología se sigue explorando para aplicarse en múltiples áreas, hoy en día está al alcance de cualquier compañía ya que los dispositivos y software están disponibles a bajo costo y el único reto está en la imaginación y el talento de la gente que lo diseña y lo programa.

En el sistema Industrial NUI (Natural User Interface) que se maduró en las Plantas de Manufactura de Textron Aviation tuvo un costo de hardware de 4,500 dólares y \$69 mil dólares de horas de programación en México.

El éxito principal del proyecto está en el entendimiento de la necesidad y observar las relaciones de los problemas desde el enfoque del usuario en el ambiente productivo con un pensamiento estratégico antes de brincar a programar tareas sin un sentido global que indique como se conectaran cada uno de los elementos para proporcionar el conocimiento acelerado al personal operativo.

La realidad Virtual es la solución a nuevos sistemas de aprendizaje que permitirán a múltiples personas desarrollar las habilidades en menor tiempo y con el método adecuado sin depender del entrenador para alcanzar la pericia que según Malcolm Gladwell toma 10,000 horas de repetición en su libro *Outliers: The story of success*.

En relación a la tecnología, la realidad virtual está limitada, es más la mercadotecnia detrás de ella que las funciones que se pueden ejecutar con programación básica. Esta tecnología requiere de personal altamente calificado para la programación e intervención de nuevos objetos que se mueven alrededor de un sistema adaptado a la solución del cliente y es difícil conseguir el talento humano para desempeñarlo en México.

Como analogía, los paquetes de Realidad Virtual que ofrece el mercado como HTC, Samsung, es como comprar un videojuego en el cual se debe conseguir un programador especializado que lo decodifique, después modifique los personajes y finalmente rescriba la historia ya que solo provee un ambiente para empezar a utilizarse y en la mayoría de los casos, se falla en adaptar soluciones. En nuestro caso, conseguir al programador fue un reto decenas de entrevistas, reuniones con escuelas en distintas partes de país y tomó 9 meses contratar a la persona correcta. Para los futuros desarrolladores de proyectos en función de Realidad Virtual, es imperativo constatar las habilidades del programador para que la solución se pueda llevar a cabo y no esperar que la compra del software es la parte clave del proyecto.

Agradecimientos

Agradezco a mis asesores por su guía, reflexión y enseñanzas, a Textron Aviation México por abrirme las puertas y proporcionarme los recursos para ejecutar este proyecto de Innovación clave para su Negocio y especialmente a Hector Heras (VP operaciones de Textron Aviation México) por su continua enseñanza, liderazgo, ejemplo de vida y asesoría.

Referencias

- Arencibia, M. G., & Cardero, D. M. (2020). DEEP LEARNING: SU IMPACTO ECONÓMICO.
- Cardillo, J., & Chacón, E. (2020). Necesidad de formación en I4. 0 y los sistemas ciber-físicos, caso latinoamerica:¿ Qué se debe saber?.
- Drucker, Peter, (1993), The Rise of the Knowledge Society. New York: Butterworth-Heinemann
- E. Gobbetti, R. Scateni (1996), Virtual Reality: Past, Present and Future, Cagliari Italy
- Estadísticas asociaciones Index (2019). Estadísticas IMMEX. Consejo Nacional de la Industria y Manufacturera de exportación.
- F. P. Brooks (1999), What's real about virtual reality?, University of North Carolina at Chapel Hill
- Goldman Sachs (2016), Virtual & augmented reality, The Goldman Sachs Group, Inc.
- Guzman Arredondo, A., Ceniceros Cázares, D., (2015), Ejercicios y Rúbricas para la Investigación educativa, Idea Editorial, 1a Edición, Mexico 2015
- I. H. Witten, E. Frank (2005), Data mining Practical Machine Learning Tools and Techniques, Second edition, Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier Inc, ISBN: 0-12-088407-0
- J. Bechtold, C. Lauenstein y otros (2014), Industry 4.0 – The Capgemini Consulting View, Capgemini Consulting, https://www.de.capgemini-consulting.com/resource-file-access/resource/pdf/capgemini-consulting-industrie-4.0_0.pdf
- R. Page (1994), Brief History of Flight Simulation, QANTAS SIMULATION SERVICES
- Rodríguez Lozano, H. M. (2020). Análisis de un material compuesto con uso de nanotubos de carbono para aplicación en estructuras espaciales.
- Sánchez, J. A., Andrada, P., Blanqué, B., & Torrent, M. (2020). Predictive Maintenance Plan for Switched Reluctance Motor Drives. IEEE Latin America Transactions, 18(01), 67-74.
- T. Munh Heng (2010), Learning Curves & Productivity in Singapore Manufacturing Industries, National University of Singapore, Developed in ASIA (ANDA), Phnom Penh
- T. P. Wright, "Factors Affecting the Cost of Airplanes," Journal of the Aeronautical Sciences (February 1936).
- Tolosa Alarcon, D. (2020). Sistema automático de control de instrumentos por GPIB para la calibración de multimetros digitales de 6 1/2 dígitos (Doctoral dissertation).