

**Nota de Aceptación: 4,7**

**Proyecto de Diseño Aprobado**, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.



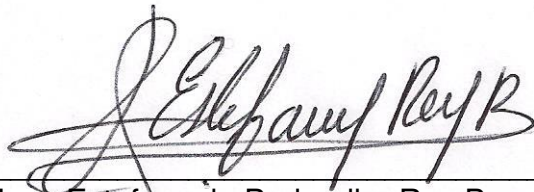
---

HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO  
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias



---

JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO  
Director Carrera Ingeniería Industrial



---

Ivón Estefany de Pedrealba Rey Becerra  
Director(a) Proyecto de Diseño



---

Álvaro Figueroa Cabrera  
Jurado 1



---

Luis Alonso Velasco Roldan  
Jurado 2

## Diseño de Entrenamientos Virtuales para el Montaje de un Motor en la Industria Automotriz

Paula Andrea Marulanda Puerta<sup>a,d</sup>, Angela María Echeverry López<sup>a,d</sup>, Santiago Riascos Pinzón<sup>a,d</sup>, Juan Jose Franco<sup>a,d</sup>,

Estefany Rey Becerra<sup>b</sup>, Luis Astorquiza<sup>c,d</sup>

<sup>a</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial

<sup>b</sup>Profesor, Director del Proyecto de Grado, Universidad Ruhr de Bochum, Bochum, Alemania

<sup>c</sup>Profesor, codirector del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

<sup>d</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

---

### Resumen

Los entrenamientos se han vuelto cada vez más importantes para las empresas, dado que ayudan a mejorar el rendimiento de los operarios, aumentar la productividad y reducir los errores y riesgos. Asimismo, la integración con los ambientes virtuales es una oportunidad para las empresas de innovar y acercarse a la industria 4.0. El equipo de trabajo centra su interés en el sector automotriz teniendo en cuenta el impacto económico que tiene dicha industria para el país, puesto que el sector produce casi \$52,3 billones y genera cerca de 72.400 empleos. El uso de estos ambientes virtuales con los entrenamientos reduce los traslados en 7.12%, tiempos de espera 16.22% y evita detener la producción para formar a los trabajadores [6] comparado con métodos convencionales.

Por lo tanto, el proyecto tiene como objetivo diseñar un entrenamiento virtual en el montaje de un motor transversal de inyección a un automóvil. Se identificaron las partes interesadas para conocer los requerimientos de los clientes, de forma que se pudiera caracterizar y seleccionar la herramienta virtual, obteniendo como resultado, el uso de realidad aumentada. Esta herramienta le permite al operario tener un nivel alto de sensación de presencia en el entorno y de integración, donde el operario pueda navegar e interactuar con los objetos por medio de la realidad aumentada. Con las gafas Google Cardboard y el software Unity y Vuforia, se realizará una prueba piloto, donde se espera una mejora en la efectividad del entrenamiento, evaluada por medio del modelo de Kirkpatrick, el cual considera usabilidad, conocimientos, actitudes y tiempo de ciclo.

*Palabras claves: Entrenamiento, realidad aumentada, industria automotriz.*

---

### Abstract

Trainings have become increasingly important for companies as they help improve operator performance, increase productivity, and reduce errors and risks. Likewise, integration with virtual environments is an opportunity for companies to innovate and get closer to Industry 4.0. The work team focuses its interest on the automotive sector, considering the economic impact that this industry has for the country, since the sector produces almost \$ 52.3 billion and generates about 72,400 jobs. The use of these virtual environments with training reduces transfers by 7.12%, waiting times 16.22% and avoids stopping production to train workers compared to conventional methods.

Therefore, the present project aims to design a virtual training in the assembly of a transverse injection engine to a car. stakeholders were identified to meet customer requirements, so that the virtual tool could be characterized and selected, resulting in the use of augmented reality. This tool allows the operator to have a high level of sense of presence in the environment and of integration, where the operator can navigate and interact with objects through augmented reality. With the Google Cardboard glasses and the Unity and Vuforia software, a pilot test will be executed, where an improvement in the effectiveness of the training is expected, evaluated through the Kirkpatrick model, which considers usability, knowledge, attitudes, and cycle time.

*Key Words: Training, augmented reality, automotive industry.*

---

## Tabla de contenido

I. PROJECT CHARTER.....	4
II. DEFINIR .....	6
A. Contexto y Justificación .....	6
B. Grupos de interés .....	8
C. Requerimientos.....	10
III. MEDIR.....	13
A. Plan de recolección de datos.....	13
B. Exploración del mercado.....	14
IV. ANALIZAR .....	21
A. Análisis de Oportunidad.....	21
B. Revisión de literatura.....	23
C. Exploración de ideas y selección de alternativas.....	25
D. Objetivos .....	29
E. Plan de trabajo (PdT).....	30
V. DISEÑAR.....	32
A. Desarrollo del diseño de la solución.....	32
B. Validación del diseño propuesto.....	34
VI. VERIFICAR .....	35
A. Medición de los impactos.....	35
B. Estandarización de la solución – POE’S (plan de control).....	36
C. Conclusiones.....	38
D. Recomendaciones.....	38
VI. GLOSARIO .....	39
VII. REFERENCIAS .....	40
VIII. ANEXOS.....	44

---

## Índice de Tablas

TABLA I. CLASIFICACION DE LOS GRUPOS DE INTERES. ....	9
TABLA II. REQUERIMIENTOS DE LOS GRUPOS DE INTERÉS. ....	11
TABLA III. INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR. ....	13
TABLA IV. RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO. ....	14
TABLA V. MATRIZ DOFA DEL DISEÑO DE ENTRENAMIENTOS EN AMBIENTES VIRTUALES.....	18
TABLA VI. REVISIÓN DE LITERATURA. ....	24
TABLA VII. MATRIZ DE PREFERENCIAS DE LAS ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN. ....	29
TABLA VIII. PLAN DE TRABAJO.....	30
TABLA IX. LISTA DE CHEQUEO CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN. ....	33
TABLA X. COMPARACIÓN DE GOOGLE CARBOARD Y SPIELTEK Vr-M2.....	34
TABLA XI. PRUEBAS DE HIPOTESIS DE LOS CUESTIONARIOS. ....	35
TABLA XII. ANEXOS.....	44

## Índice de Figuras

Fig. 1. Índice de producción de vehículos automotores y motores. Modificado de [10] ver anexo 1.....	7
Fig. 2. Número de empleados dispuestos a tareas de innovación y empresas en la industria automotriz. Modificado de [12]. .....	7
Fig. 3. Matriz de Interés vs. Poder para los grupos de interés del proyecto.....	10
Fig. 4. Diagrama de flujo del montaje de un motor transversal de inyección de un carro. ....	17
Fig. 5. Fuerzas competitivas de Porter. ....	19
Fig. 6. Casa de la calidad. ....	21
Fig. 7. Prioridad requerimientos funcionales. ....	21
Fig. 8. Las 4 P del mercadeo. ....	22
Fig. 9. Global virtual reality in automotive market share by application 2020 recuperado de [28]......	23
Fig. 10. Google Cardboard.....	26
Fig. 11. HTC VIVE recuperado de [41]. ....	26
Fig. 12. Oculus Rift S, recuperado de [42]......	27
Fig. 13. Microsoft HoloLens, recuperado de [46]......	27
Fig. 14. Google Glasses, recuperado de [50]......	28
Fig. 15. Menú principal aplicación en Unity.....	32
Fig. 16. Menú de entrenamiento de la aplicación. ....	32
Fig. 17. Visión de la apk en el celular del entrenamiento virtual.....	33
Fig. 18. Estandarización del entrenamiento. ....	37

## I. PROJECT CHARTER

Descripción		Planteamiento del problema (Problem statement)	
<p>Los entrenamientos ayudan a mejorar el rendimiento de los operarios, a aumentar la productividad a reducir los errores y riesgos en el trabajo. Asimismo, la integración con los ambientes virtuales es una oportunidad para las empresas de innovar y acercarse a la industria 4.0. La implementación de una herramienta virtual que utilice realidad mixta en las líneas de producción puede traer ciertos beneficios como mejorar los procesos y reducir tiempos de espera, lo cual aplicado al sector automotriz genera un impacto económico, dado que actualmente este produce casi \$52,3 billones y genera cerca de 72.400 empleos. El presente proyecto está enfocado en el diseño de un entrenamiento virtual de realidad mixta, que permita reducir el tiempo de ciclo del montaje de un motor transversal de un carro, de forma que se pueda ayudar al operario a realizar su tarea.</p>		<p>El uso de estos ambientes virtuales con los entrenamientos reduce los traslados, tiempos de espera y evita detener la producción para formar a los trabajadores. Por tanto, es una oportunidad para mejorar el proceso de montaje de un motor transversal de inyección en un automóvil, la cual es una operación que se caracteriza por tener actividades manuales que genera tensión y carga cognitiva en el operario. Por ello adoptar un entrenamiento virtual podría permitir ofrecer la información, soporte y seguridad necesaria al operario [15] para mejorar su desempeño en el trabajo.</p>	
Impacto de los actores		Restricciones	Especificaciones
<p style="text-align: center;">Matriz Poder vs. Interés</p> <p>Para más detalles ver Fig. 3. Matriz de Interés vs. Poder para los grupos de interés del proyecto.</p>		<p>Falta de conocimientos en el diseño del entrenamiento virtual. (por parte del grupo de trabajo)</p> <p>Falta de habilidad de los operarios para manejar los medios virtuales, a su vez, la falta de interés de las empresas del sector automotriz de innovar en sus procesos de formación. (ambas restricciones directas de las empresas ensambladoras del sector automotriz).</p>	<p>Cumplir con los requisitos dados por lo grupos de interés.</p> <p>Diseñar un entrenamiento virtual que cumpla con las metas trazadas de los indicadores de desempeño (usabilidad, conocimientos, actitudes, tiempo de ciclo) de modo que sea una herramienta que permita la efectividad en el entrenamiento.</p> <p>Brindar una guía que permita entrenar, educar y capacitar al operario en el entrenamiento.</p> <p>También formular, adoptar y orientar la política pública que contribuya a mejorar la calidad de vida de los colombianos, para garantizar el derecho al trabajo decente mediante la identificación e implementación de estrategias de generación y formalización del empleo.</p>
<b>Indicadores de desempeño (KPI's)</b>			
Variable		Actualidad	Meta
Efectividad del entrenamiento		Nivel 1: Usabilidad.	No hay datos disponibles. Se espera un puntaje de usabilidad de 85 puntos en el cuestionario después de realizar el entrenamiento.
		Nivel 2: Conocimiento.	Se realizarían pruebas antes y después del entrenamiento. Se espera que el operario obtenga un puntaje igual o superior a 3 sobre 5 en el cuestionario después de realizar el entrenamiento.
		Nivel 2: Actitudes.	No hay datos disponibles. Se espera que el operario obtenga un puntaje igual o superior a 85 puntos sobre 100.
		Nivel 4: Tiempo de ciclo.	El tiempo de ciclo es de 110,58 minutos. El tiempo de ciclo del montaje del motor debe ser menor a 110,58 minutos.
<b>Objetivo general (Goal statement)</b>			
<p style="text-align: center;"><i>Diseñar un entrenamiento de la operación de montaje del motor transversal de un automóvil, con el fin de disminuir el tiempo de ciclo y mejorar el rendimiento del operario, desarrollando un ambiente de realidad aumentada usando las gafas Google Cardboard y los Software Unity 3D y Vuforia.</i></p>			
<b>Objetivos específicos</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>Diseñar un método del entrenamiento, teniendo en cuenta las actividades que debe llevar a cabo el operario y la normativa dictada por la ARL y el Ministerio de Trabajo, por medio de la estandarización del método de trabajo.</li> <li>Desarrollar el ambiente virtual mediante el Software Unity y Vuforia para aplicarlo al Hardware (Google Cardboard).</li> <li>Realizar la prueba piloto del método del entrenamiento mediante el ambiente de realidad aumentada con las Google Cardboard.</li> <li>Validar la mejora del rendimiento de los operarios, mediante el análisis de los resultados por medio de pruebas de hipótesis, de las mediciones del tiempo de ciclo, los cuestionarios de conocimientos y actitudes, así mismo de la usabilidad del entrenamiento virtual.</li> </ol>			
<b>Equipo de trabajo (Team members)</b>			
Nombre		Rol	
Angela María Echeverry.		Compromiser.	
Juan José Franco.		Harmonizer.	
Paula Andrea Marulanda.		Observer/ Commentator.	
Santiago Riascos.		Gatekeeper.	
Estefany Rey Becerra.		Satandard setter.	

Luis Astorquiza.	Commentator.
------------------	--------------

Plan de Trabajo			
Actividad	Fecha Inicio	Fecha Fin	Área IISE
Identificar las posiciones ergonómicas de las tareas a realizar.	Segunda Semana de febrero 2021.	Tercera semana de febrero 2021.	Work Design and measurement
Definir los puntos de control del proceso.	Segunda Semana de febrero 2021.	Tercera semana de febrero 2021.	
Definir los pasos del entrenamiento.	Segunda Semana de febrero 2021.	Tercera semana de febrero 2021.	
Realizar diagrama de procesos de método estandarizado.	Segunda Semana de febrero 2021.	Tercera semana de febrero 2021.	
Identificar las herramientas utilizadas en el montaje del motor al carro.	Segunda Semana de febrero 2021.	Tercera semana de febrero 2021.	
Tomar medidas de los objetos con los que va a interactuar el operario.	Segunda Semana de febrero 2021.	Tercera semana de febrero 2021.	1. Work Design and measurement.
Escanear el área de trabajo y herramientas para realizar la programación orientada a objetos.	Segunda Semana de febrero 2021.	Tercera semana de febrero 2021.	13. Product Desing y Development.
Realizar el algoritmo de programación con las instrucciones del método junto con un estudiante de Ingeniería de Sistemas.	Primera semana de marzo 2021.	Primera semana de abril 2021.	
Verificar el funcionamiento unificado del software con el hardware (Google Cardboard).	Primera semana de abril 2021.	Segunda semana de abril 2021.	
Contactar al centro de desarrollo tecnológico industrial del SENA.	Segunda Semana de febrero 2021.	Tercera semana de febrero 2021.	9. Engineering Management.
Definir fecha del entrenamiento con coordinador del Sena Walter Rentería Palacios.			
Seleccionar los operarios que participarán en el entrenamiento.	Tercera semana de febrero 2021.	Cuarta semana de febrero 2021.	6. Ergonomics and Human Factors.
Realizar un video explicativo de cómo funciona el dispositivo.	Primera semana de abril 2021.	Tercera semana de abril 2021.	13. Product Desing y Development.
Realizar la prueba piloto del entrenamiento virtual.	Tercera semana de abril 2021.	Cuarta semana de abril 2021.	1. Work Design and measurement.
Medir el tiempo de ciclo durante el entrenamiento.			
Diseñar los cuestionarios de usabilidad, conocimientos y actitudes.	Primera semana de marzo 2021.	Tercera semana de marzo 2021.	1. Work Design and measurement
Aplicar el cuestionario de conocimientos y actitudes antes del entrenamiento.	Tercera semana de abril 2021.	Cuarta semana de abril 2021.	
Aplicar los cuestionarios de usabilidad, conocimientos y actitudes después del entrenamiento.	Tercera semana de abril 2021.	Cuarta semana de abril.	
Organizar los cuestionarios para obtener la información sobre la usabilidad del entrenamiento, y el conocimiento y actitudes de los participantes al entrenamiento.	Primera semana de mayo.	Segunda semana de mayo.	
Analizar información arrojada por los cuestionarios de usabilidad con el fin de obtener el indicador del Nivel 1 de Kirckpatrick.	Segunda semana de mayo.	Tercera semana de mayo.	
Analizar información arrojada por los cuestionarios de conocimiento y actitudes comparando antes y después del entrenamiento para verificar si el operario mejoró su rendimiento.	Segunda semana de mayo.	Tercera semana de mayo.	5. Quality & Reliability Engineering.
Analizar la información por medio de herramientas estadísticas del tiempo de ciclo del entrenamiento virtual para evaluar si se disminuyó respecto al del entrenamiento convencional.	Tercera semana de mayo 2021.	Cuarta semana de mayo.	

## II. DEFINIR

### A. Contexto y Justificación

Los entrenamientos son un conjunto de actividades sistemáticas y planeadas diseñadas con el objetivo de mejorar el rendimiento de las personas, considerando tres componentes principales: conocimiento, habilidades y actitudes (KSAs por sus siglas en inglés, *knowledge, skills, and attitude*) [1]. Por esta razón, los entrenamientos en las empresas se han convertido en parte importante para la mejora de la calidad y la productividad en el trabajo. Esta capacitación les permite competir, sobresalir e innovar, por tanto, las empresas han sido conscientes de la importancia de invertir en el entrenamiento de sus empleados.

Por otro lado, el crecimiento tecnológico ha hecho que las empresas tengan que innovar en sus procesos. Actualmente, las industrias invierten en nuevas tecnologías como sistemas de asistencia, robótica avanzada y realidad aumentada para enfrentarse a los desafíos que se presentan en la actualidad como la globalización y cambios rápidos en el mercado [2]. Las organizaciones han explorado la implementación de ambientes virtuales, los cuales son experiencias sensoriales sintéticas que comunican los componentes físicos y abstractos a un participante humano [3]. Por ejemplo, Ford utilizó la realidad virtual 3D en los estudios de diseño de sus autos en Estados Unidos, reduciendo los tiempos de prueba y creación de nuevos diseños de semanas a horas. [4]. Por otro lado, Volvo Cars implementó un simulador en Suecia, que permite modificar las características físicas del vehículo y realizar una prueba de conducción, sin necesidad de producir el automóvil [5]. La puesta en práctica de estas tecnologías ha hecho que las empresas puedan ser más eficientes al momento de atender las necesidades del mercado. Así mismo, el uso de estas tecnologías en los entrenamientos reduce los traslados en 7.12%, tiempos de espera 16.22% y evita detener la producción para formar a los trabajadores comparado con métodos convencionales [6].

Este proyecto centra su interés en los entrenamientos, utilizando un ambiente virtual correspondiente a la realidad mixta (MR por sus siglas en inglés). Según el continuo de realidad-virtualidad de Milgram y Kishimo [7], la MR se presenta cuando el mundo virtual y el mundo real interactúan en un mismo entorno. Este tipo de ambiente virtual fue seleccionado por medio de un consenso con todo el equipo de trabajo, porque a comparación de los otros ambientes, este permite al operario involucrarse con la operación y realizar las actividades, de forma que tenga un contacto visual, auditivo y sensorial que le brinde la experiencia que simule la práctica en el mundo real.

Teniendo en cuenta lo anterior, el entrenamiento virtual se desarrollará en el sector automotriz, en vista del impacto económico que tiene esta industria para Colombia. Como lo afirma la revista Semana en el año 2019 [8], actualmente el sector genera cerca de \$52,3 billones, de los cuales el 21% proviene de la fabricación de vehículos automotores y sus partes, el 23%, del comercio de estos, y el 56%, de los bienes complementarios [9]. Además, genera más de 72.400 empleos, tanto del comercio como de la industria de vehículos automotores y sus partes, teniendo ganancias de \$2 billones por encima del promedio nacional.

Asimismo, el índice de producción real industrial del 2020 del DANE (Ver Anexo 1) [10], refleja la evolución de la calidad y la cantidad en la producción de vehículos automotores y motores destinados a la venta. Para el 2018 y 2019, se mantuvo por encima de 100 unidades producidas/mes, como se observa en la *Fig. 1*; esto se debe a que la cadena productiva de este sector en Colombia comprende la fabricación de partes y piezas de vehículos utilizadas en montaje y como repuestos. Este sector, es el segundo eslabón de la cadena productiva que compone a la industria automotriz en Colombia [11]. Para el año 2020 se puede observar una clara disminución en la producción hasta el primer semestre de ese año como causa directa de la pandemia a nivel mundial. después del mes 7 hasta el mes 12 se mantiene la producción oscilando en 75 unidades/ mes que es menor comparado con la producción real de años anteriores en los mismos meses, pero, se debió a la propia reactivación de la economía.

Cabe resaltar que, dada la normalidad de los datos en los años 2018 y 2019, se mantiene en el tiempo hasta el mes 8, sin embargo, en el año 2018, se incrementa la producción manteniéndose por encima hasta el mes 12. Es de vital importancia saber qué factores, como demanda y nivel adquisitivo de la sociedad, afectan directamente la producción de cualquier industria manufacturera, pues permite saber cuáles deben ser los niveles de producción y así mismo conocer dónde se deben gestionar los recursos.

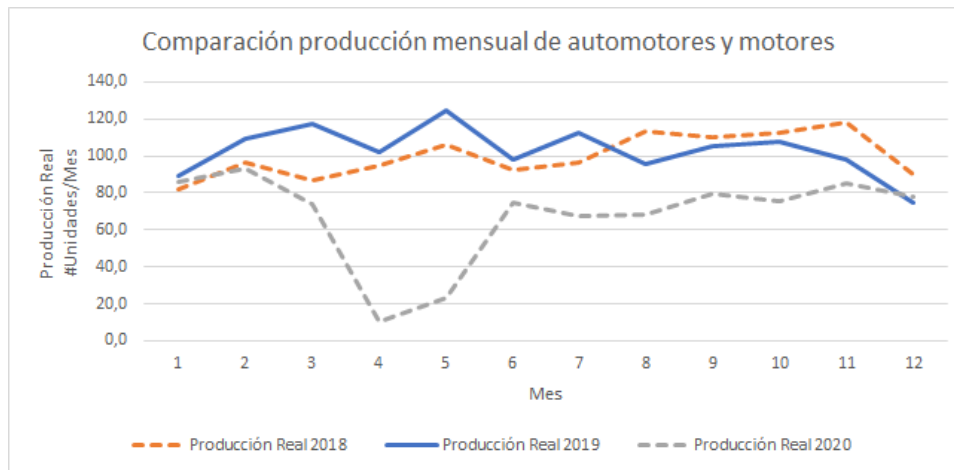


Fig. 1. Índice de producción de vehículos automotores y motores. Modificado de [10] ver anexo 1.

Para disminuir la fluctuación en la demanda y asegurar calidad en la producción, las industrias manufactureras en Colombia han considerado innovar para satisfacer las necesidades del mercado y disminuir costos. En la Fig. 2. se observa el número de empleados y empresas dedicadas a la innovación dentro del sector automotriz. En la fabricación de vehículos automotores y sus motores se mantuvo en 4 empresas a lo largo de los 4 años. Sin embargo, en cuanto al número de personal dedicado a esta tarea, disminuyó considerablemente, pasando de una media de 183 en los años 2015-2016 a 124 entre 2017-2018. La actividad que presenta mayor número de empresas dedicadas a la innovación en el sector automotriz es la fabricación de autopartes para vehículos atribuyéndole a su participación porcentual un 40% del total de empresas dedicadas a esto.

Actividad económica	Total empresas innovadoras y potencialmente innovadoras	Total empresas innovadoras y potencialmente innovadoras	Personal ocupado que participó en actividades			
			Total personal			
			2015	2016	2017	2018
	2015-2016	2017-2018				
Fabricación de vehículos automotores y sus motores	4	4	182	183	115	132
Fabricación de carrocerías para vehículos automotores	18	15	420	423	166	207
Fabricación de partes, piezas (autopartes) y accesorios para vehículos	22	22	138	172	116	83
Fabricación de otros tipos de equipo de transporte	11	10	334	189	278	300

Fig. 2. Número de empleados dispuestos a tareas de innovación y empresas en la industria automotriz. Modificado de [12].

Se puede concluir que Colombia está enmarcada por el comercio de vehículos, específicamente en autopartes, debido a que presenta una mayor presencia en el ensamble de vehículos que en la producción de estos. Además, el país cuenta con grandes empresas como Fábrica Nacional de Autopartes (FANALCA) [13] con presencia en tres ciudades (Bogotá, Medellín y Cali), la cual tiene como función principal el ensamble de vehículos junto con La Sociedad de Fabricación de Automotores S.A. (SOFASA), empresa nacional, que ensambla autos Renault con presencia internacional.

Según la Asociación Nacional de Industriales (ANDI), en la cámara de la Industria Automotriz [14], en Colombia operan de manera activa las ensambladoras de General Motors Colmotores, SOFASA, Hino, Fotón, Carrocerías Non Plus Ultra, Nissan, Navistrans y Daimler. Su presencia en el país ha generado cerca de 76.100 personas vinculadas con el comercio y la industria de vehículos automotores y sus partes [9]. Teniendo en cuenta el impacto que tiene el sector para el país, el proyecto se enfocará en el montaje de motores al automóvil, el cual corresponde al subsector de fabricación de vehículos automotores.

La implementación de una herramienta virtual que utilice MR en las líneas de producción puede traer ciertos beneficios. En primer lugar, mejora los procesos, pues permite informar al operario en cada etapa, cómo se realiza la actividad optimizando los tiempos del trabajo. Segundo, se reducen tiempos de espera, evitando detener la producción para formar a los trabajadores. Tercero, se aumenta la seguridad, utilizando la herramienta virtual para concientizar y enseñar a los operarios a trabajar con las medidas de seguridad [15]. Estos mejoran las competencias de los trabajadores, contribuyendo en la seguridad en el trabajo y aumentando la productividad [16].

Sin embargo, el entrenamiento virtual puede traer desventajas, como la ciber enfermedad, generando trastornos del movimiento experimentado por las personas que utilizan sistemas de realidad virtual, teléfonos inteligentes y videojuegos [17]. Los usuarios del sistema tienen la sensación de estarse moviendo de forma permanente, a pesar de que están quietos, debido a que en los ambientes de realidad virtual hay un movimiento aparente. Los efectos causados son mareo, náuseas y fatiga visual. Por ello, se deberá tener en cuenta dicha desventaja al momento de diseñar el entrenamiento virtual, explorando distintas opciones que disminuyan los riesgos para los operarios.

Aunque los entrenamientos convencionales y virtuales han demostrado ser de utilidad para brindar las capacitaciones a los operarios [18], investigadores han identificado y comparado diferentes métodos de formación para los operarios que involucran simulación, diálogo y la capacitación práctica [19]. Estos muestran tener una participación más activa por parte de los trabajadores, demostraron mejores beneficios en la adquisición de conocimientos, reducción de accidentes y lesiones, que en los entrenamientos convencionales.

La relevancia de este proyecto se respalda considerando varios aspectos. En primer lugar, la integración con los ambientes virtuales es una oportunidad para las empresas de innovar y acercarse a la industria 4.0, la cual permite optimizar el sector industrial y hablar de fábricas inteligentes [20]. Segundo, los entrenamientos virtuales facilitan la reducción de costos, traslados, entornos físicos o disponibilidad de equipos que deben operarse [21], reduciendo el riesgo adicional de realizar prácticas sobre maquinarias costosas. Tercero, es posible evidenciar que a causa de la “nueva normalidad” del coronavirus SARS-CoV-2, se ha generado un cambio en el uso de las herramientas virtuales [22], que permite a las personas adaptarse y desarrollar actividades de la vida cotidiana. Adoptar un entrenamiento virtual permite ofrecer la información, soporte y seguridad necesaria al operario para mejorar su desempeño en el trabajo y aumentar su productividad.

Por otro lado, los entrenamientos convencionales cuentan con ciertas desventajas, como capacitaciones costosas para la empresa y peligrosas para el operario. Los errores que el aprendiz cometa, son un factor de riesgo para la integridad de su vida y la producción de la empresa.

Finalmente, este proyecto estará enfocado en diseñar un entrenamiento con ambientes virtuales para los operarios en el proceso de montaje de un motor transversal de inyección en un automóvil. Esta operación se caracteriza por tener actividades manuales. Por lo tanto, genera tensión y carga cognitiva en el operario [23]. La elección de la tarea se llevo a cabo teniendo en cuenta las dificultades en el momento del montaje, la cual se definirá en la etapa medir.

### *B. Grupos de interés*

El proyecto se llevará a cabo de manera general como una oportunidad de mercado de empresas automotrices. Para el correcto funcionamiento del diseño de entrenamientos virtuales, es necesario analizar los grupos de interés. Para ello, primero se identificaron los actores. Luego se utilizó la metodología Matriz poder vs. interés, para ponderarlos y clasificarlos. La relación se determinó designando un valor de 0-10 en cuanto a interés y poder, siendo 0 el menor valor y 10 el mayor.

Referente a poder, si se asigna un valor de 10, quiere decir que el actor de interés puede tomar decisiones sobre el proyecto y modificarlo. A su vez, un menor puntaje significa un menor poder sobre el proyecto. En la casilla de interés, al dar un valor de 10 quiere decir que el proyecto es de gran importancia para el actor interesado, entre menor valor, menor relevancia tendrá el proyecto para este. La *TABLA I.* muestra la identificación y la ponderación de los actores de interés a este proyecto, junto con la función y el efecto de estos. Obteniendo así, en la **Error! Reference source not found.** donde la mayoría de los grupos interesados se distribuyen en los cuadrantes III y IV. Los actores de interés restantes se ubican en los cuadrantes I y II, los cuales se destacan por ser los grupos de mayor importancia para el proyecto.

TABLA I.  
CLASIFICACION DE LOS GRUPOS DE INTERES.

Grupos de interés		Función	Efecto	Interés	Poder
1. Equipo de proyecto	Paula Andrea Marulanda	Diseño de entrenamientos virtuales para los operarios en el sector industrial automotriz de partes y piezas.	Obtener un proyecto exitoso, que logre atender la oportunidad identificada.	10	10
	Santiago Riascos			10	10
	Juan José Franco			10	10
	Ángela María Echeverry			10	10
	Estefany Rey Becerra	Aporte de conocimientos, guía y acompañamiento en el diseño de los entrenamientos virtuales para los operarios.	Proyecto que dé respuesta a la oportunidad identificada.	10	10
2. Propietario de la empresa automotriz ensambladora		Implementación del entrenamiento virtual con sus operarios.	Obtener beneficios en las labores de los operarios, un mayor rendimiento y productividad, mayor control en las operaciones y satisfacción de los clientes.	10	0
3. Pontificia Universidad Javeriana Cali		Disponer de los recursos para la realización del proyecto.		4	3
4. ARL		Previene, atiende y protege a trabajadores de efectos causados por accidentes o enfermedades laborales.		3	1
5. Ministerio de Trabajo		Vigila el cumplimiento de las normas del trabajador y empleador.		3	6
6. Ministerio de Tecnología de Información y las Telecomunicaciones		Adoptar y promover las políticas, planes, programas y proyectos del sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.		4	4
7. Profesor Luis Astorquiza y Andrés Navarro		Brindar asesoría técnica de los profesores en programación para el diseño del entrenamiento virtual.		8	0
8. Operarios en entrenamiento		Recibir entrenamiento virtual para el desempeño de su trabajo.	Mejorar el rendimiento de sus actividades laborales en la empresa.	6	0
9. Laboratorio de la Pontificia Universidad Javeriana Cali		Recibir asesoría técnica en el desarrollo del ambiente virtual.		5	0
10. Empresas que diseñan entrenamientos		Analizar los métodos que se implementaron en el diseño para usarlos posiblemente en las siguientes secciones del proyecto.		6	0
11. Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia		Es un ente regulador que determina normas y directrices en materia de temas de salud pública, asistencia social, población en riesgo y pobreza		5	2

La siguiente matriz se divide en cuatro cuadrantes dependiendo de su nivel de interés y poder en el proyecto de la siguiente manera:

- **I:** Mantenerlos informados y nunca ignorados, dado que cuentan con un alto poder en el proyecto pueden tener efectos positivos o negativos, por lo tanto, es vital mantenerlos informados con el objetivo de que vean favorablemente el proyecto.
- **II:** Se debe trabajar para ellos, puesto que su grado de interés y poder es alto van a intervenir activamente en las decisiones que se tomen. En este caso deberá procurar satisfacer a todas las partes interesadas.
- **III:** Se debe trabajar con ellos, dado que tienen un alto interés, pero bajo poder, por lo cual no tendrán ninguna influencia en las decisiones que se tomen
- **IV:** Mantener a los grupos informados, gastando el mínimo esfuerzo en ellos. Será un sistema de vigilancia, monitorear su estado para detectar cambios de actitud o percepción respecto al proyecto.

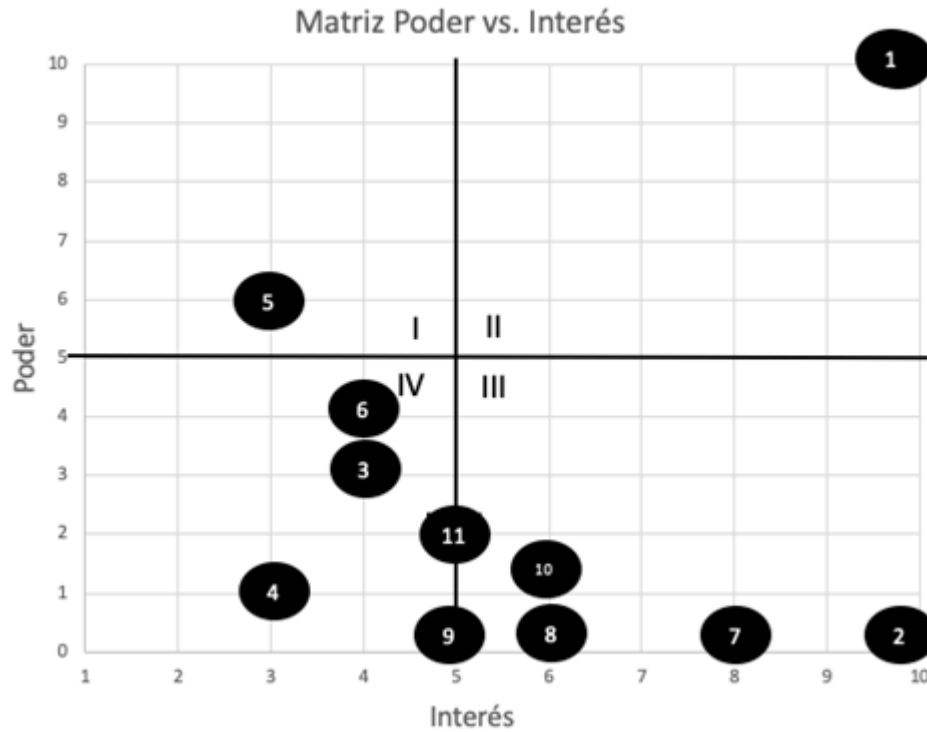


Fig. 3. Matriz de Interés vs. Poder para los grupos de interés del proyecto.

### C. Requerimientos

Teniendo en cuenta los grupos de interés del proyecto, se deben establecer restricciones, especificaciones y normativas exigidas para cada uno de ellos como se muestra en la

TABLA II.. Estas restricciones son fundamentales para el proyecto, dado que son características de los sistemas, procesos y componentes que se deben cumplir para satisfacer las necesidades de los grupos de interés.

En cuanto a las restricciones, se deben definir las limitaciones que impiden el cumplimiento de los requisitos de los grupos de interés dentro del diseño, se deben determinar las características principales con las que contará el diseño de los entrenamientos

virtuales. Por último, la información que se obtuvo para los requisitos de los grupos de interés y las normativas referentes a las leyes que rigen el desarrollo del proyecto propuesto, se explican en el Anexo 2.

TABLA II.  
REQUERIMIENTOS DE LOS GRUPOS DE INTERÉS.

Grupos de interés	VOC (Requisitos Grupos de Interés)	Restricciones de Diseño	Especificaciones de Diseño	Legislación y requisitos aplicables	Importancia o Efecto de leyes, normas y estándares
<b>1. Equipo de proyecto</b>	Generar valor para las partes interesadas.	Falta de conocimientos en el diseño del entrenamiento virtual.	Uso de ideas innovadoras para proponer el diseño, teniendo en cuenta las condiciones actuales.  Cumplir con los requisitos dados por lo grupos de interés	N/A	N/A
<b>2. Empresas del sector automotriz ensambladoras</b>	Diseñar un entrenamiento virtual para los operarios de producción en el montaje del motor de un carro, que facilite el aprendizaje  y mejore el desempeño de la tarea.	Falta de habilidad de los operarios para manejar los medios virtuales.  Falta de interés de las empresas del sector automotriz de innovar en sus procesos de formación.	Diseñar un entrenamiento virtual que cumpla con las metas trazadas de los indicadores de desempeño (usabilidad, conocimientos, actitudes, tiempo de ciclo) de modo que sea una herramienta que permita la efectividad en el entrenamiento  Guía que permita entrenar, educar y capacitar al operario en el entrenamiento.  Estimación de costos del diseño  Análisis de indicadores de mejora de productividad.	N/A	N/A
<b>3. Pontificia Universidad Javeriana Cali</b>	Cumplir con la entrega de recursos necesarios para facilitar el desarrollo y culminación del proyecto.	Trámites para acceder al CAP  Disponibilidad de recursos.	cumplimiento del 80% de los recursos	N/A	N/A
<b>4. ARL</b>	Cumplir las normas aplicables sobre la salud ocupacional.	Falta de cumplimiento de	El diseño debe contar con las normativas necesarias para no afectar al operador.	Ley 1295 de 1994, Art.76 del Ministerio de trabajo.	Se debe establecer un periodo de aprendizaje.

Grupos de interés	VOC (Requisitos Grupos de Interés)	Restricciones de Diseño	Especificaciones de Diseño	Legislación y requisitos aplicables	Importancia o Efecto de leyes, normas y estándares
		las normas por parte del personal.		Ley 1562 de 2012, Art.26 del Ministerio de salud.	Se deben facilitar espacios para la capacitación de los trabajadores a su cargo en materia de salud ocupacional.
5. Ministerio de Trabajo	Cumplir con las normativas, leyes y decretos aplicables.	N/A	El diseño debe contar con la capacitación o guía para el uso correcto del dispositivo.	Decreto 1127 de 1991 Art. 4 del código sustantivo del trabajo.	El entrenamiento debe ser de carácter obligatorio para los operarios.
				Ley 50 de 1990 Art. 21 del código sustantivo del trabajo.	Limita el tiempo de los operarios en las actividades laborales al destinar horarios para actividades recreativas y de capacitación.
6. Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones.	Cumplir con las normativas, leyes y decretos aplicables.	N/A	Formular, adoptar y orientar la política pública que contribuya a mejorar la calidad de vida de los colombianos, para garantizar el derecho al trabajo decente mediante la identificación e implementación de estrategias de generación y formalización del empleo.	Ley 1341 de 2009 del Ministerio de Tecnología de la Información y Comunicaciones.	Ajustarse a la formulación de políticas públicas del Ministerio de Tecnología de la Información y Comunicación que rigen el sector de las TIC (Tecnologías de Información y Comunicación).
7. Profesor Luis Astorquiza y Andrés Navarro.	Conocimientos previos sobre herramientas de programación para facilitar la asesoría en el desarrollo del ambiente virtual.	Falta de conocimientos del lenguaje de programación.	Diseño del entrenamiento virtual debe contar con las herramientas de programación brindadas por los profesores.	Reglamento de profesorado 2019 de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.	Aporte de conocimientos y actividades para el desarrollo del entrenamiento virtual en la parte de programación.
8. Operarios en entrenamiento.	Mejorar el desempeño en el montaje del motor de un carro por medio de los entrenamientos virtuales.	Horarios limitados para realizar el entrenamiento.	Diseño de un entrenamiento virtual fácil de entender y manipular para desarrollar la actividad del montaje del motor a un carro.	N/A	N/A
	Suplir las necesidades de un entrenamiento convencional dentro de la virtualidad.	Falta de adaptación al entrenamiento virtual. Falta de conocimiento en el uso de herramientas virtuales.			
9. Laboratorista de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.	Conocer detalladamente el proceso del montaje del motor, para identificar las herramientas necesarias a utilizar en el desarrollo del ambiente virtual.	Trámites para acceder al laboratorio.	Diseño del ambiente virtual con herramientas aprendidas en las asesorías recibidas.	Reglamento de profesorado 2019 de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.	Aporte de conocimientos y actividades para el desarrollo del ambiente virtual del entrenamiento al operario.
		Desconocer el uso de las herramientas.			
10. Empresas que diseñan entrenamientos.	Analizar métodos implementados en el proyecto que puedan usar.	Información limitada a disponibilidad de otros.	N/A	N/A	N/A
11. Ministerio de Salud y Protección Social.	Cumplir con los protocolos de bioseguridad.	N/A	El diseño del entrenamiento virtual debe contar con los protocolos de bioseguridad para la prevención del coronavirus SARS-CoV-2.	Resolución 666 de 2020 del Ministerio de Salud.	Tener en cuenta los protocolos de bioseguridad para la prevención del coronavirus SARS-CoV-2 en el diseño del entrenamiento virtual.

Nota: se realizó una reunión el día 10 de noviembre de 2020 con el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), con el fin de corroborar los datos obtenidos de los videos y solventar las dudas que surgieron en el desarrollo de esta etapa del proyecto. También, para conocer físicamente el proceso de montaje de un motor con el chasis de un vehículo.

### III. MEDIR

#### A. Plan de recolección de datos

Para realizar el plan de recolección de datos (Ver Anexo 3), se definieron las variables relevantes para medir el desempeño de los trabajadores en el área de montaje del motor en una industria del sector automotriz, las cuales se pueden observar en la *TABLA III*. La variable efectividad del entrenamiento incluye usabilidad, conocimiento, actitud y tiempo de ciclo.

*TABLA III.*  
*INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR.*

Variable	Objetivo	Descripción	Indicador
Efectividad del entrenamiento	Permite identificar si se logró mejorar el rendimiento del operario.	Nivel 1: El grado en que los participantes encuentran la capacitación favorable, atractiva y relevante para sus trabajos.	Puntaje de Usabilidad sobre la herramienta de entrenamiento
		Nivel 2: El grado en que los participantes adquieren el conocimiento y la actitud, dos factores previstos en función de su participación en el entrenamiento.	Puntaje del cuestionario de conocimiento (antes vs después del entrenamiento). Puntaje del cuestionario de actitud ORMAQ (después del entrenamiento).
	Permite saber cuánto tiempo le está tomando al operario en el montaje del motor, para poder comparar si al realizar el diseño hubo mejora en la reducción del tiempo.	Nivel 4: Se tomarán los datos de videos de YouTube donde el operario realice la tarea del montaje de un motor transversal de inyección al carro.	Tiempo de ciclo.

Para obtener la variable tiempo de ciclo del montaje del motor, se desarrolló el diagrama de flujo del proceso. La información se obtuvo por medio de dos fuentes. En primer lugar, se realizó una entrevista al Ingeniero Mecánico Jorge Lopera, quien tiene experiencia con el centro de diagnóstico automotriz del Valle (Ver Anexo 4), donde explicó el proceso del montaje de un motor transversal de inyección, las diferencias existentes entre los tipos de motores, entre otros aspectos. En segundo lugar, para estimar los tiempos del proceso, se consultaron videos de YouTube (Ver Anexo 5) de operarios realizando el proceso o alguna de las actividades descritas en el diagrama de flujo. A medida que el operario realizaba su labor, se iba registrando el tiempo que le tomaba a este para realizar cada actividad.

Para conocer la efectividad del entrenamiento, se tendrán en cuenta los niveles del modelo Kirkpatrick [24] que permite evaluar el rendimiento del operario en 4 niveles, como se explica a continuación:

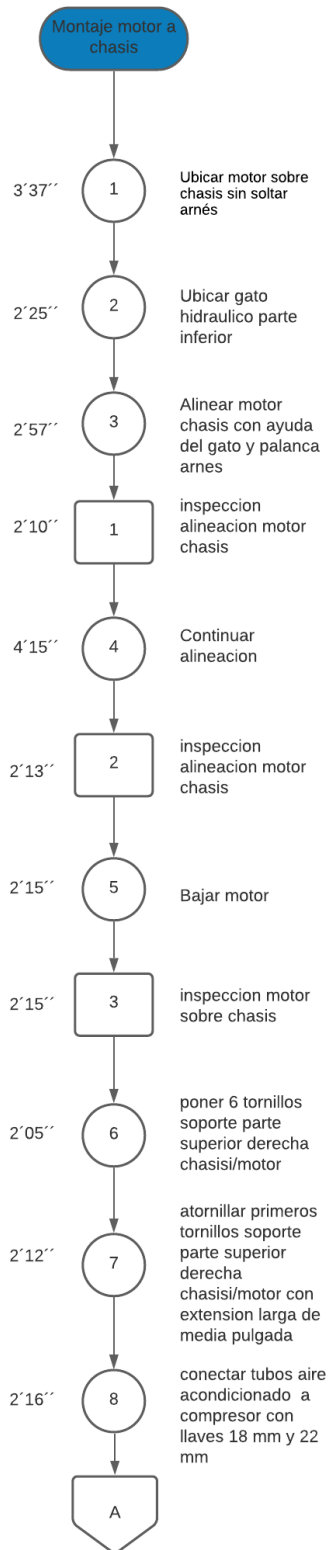
- El nivel 1 se refiere a la reacción del operario frente al entrenamiento, se evaluará a través de la usabilidad de la herramienta, en la cual se realizará un cuestionario después que el operario haya realizado el entrenamiento [25]. El cuestionario que se va a utilizar en el nivel 1, se basa en la escala de sistemas de usabilidad. Es una herramienta muy similar a la escala Likert ya que permite medir la disposición o aplicación de un objetivo. Algunas de las ventajas que trae consigo la herramienta es que permite obtener resultados sobre la satisfacción del operario en cuanto al entrenamiento y permite evaluar la usabilidad de la herramienta con la que se lleva a cabo el entrenamiento (ver anexo 6).
- El nivel 2 se refiere a la transferencia del aprendizaje [25] en dos aspectos: primero, se realizará una evaluación del conocimiento antes y después del entrenamiento, este incluirá preguntas de selección múltiple para determinar si el operario conoce el procedimiento del montaje. Segundo, se tendrá en cuenta el cuestionario de actitudes, el cual se aplicará después del entrenamiento (ORMAQ por sus siglas en inglés) para medir el liderazgo, la comunicación, el trabajo en equipo, el estrés y la fatiga [26]. Este será adaptado al proceso de montaje del motor al carro, tendrá una sección de preguntas que serán calificadas según la escala Likert. La primera sección incluirá preguntas referentes a las actitudes que tiene el operario en el área de trabajo. En la segunda sección se evaluará la percepción de la calidad del trabajo en equipo. Luego, se harán preguntas respecto a los errores o riesgos dentro del área de trabajo. Finalmente se analizará el liderazgo y la priorización.
- El nivel 3 se refiere al cambio de comportamiento a causa del entrenamiento. Este nivel no se tendrá en cuenta, puesto que implica observar al operario durante un periodo de tiempo, es decir, implementar el diseño del entrenamiento.
- Finalmente, el nivel 4 se refiere a los resultados cumplidos del entrenamiento, este se evaluará con el indicador de “Tiempo de ciclo” el cual se refiere al tiempo que le toma al operario desde que baja el motor al compartimento hasta que realiza la inspección de las conexiones. Lo anterior se hará con el objetivo de comparar si al realizar el diseño hubo

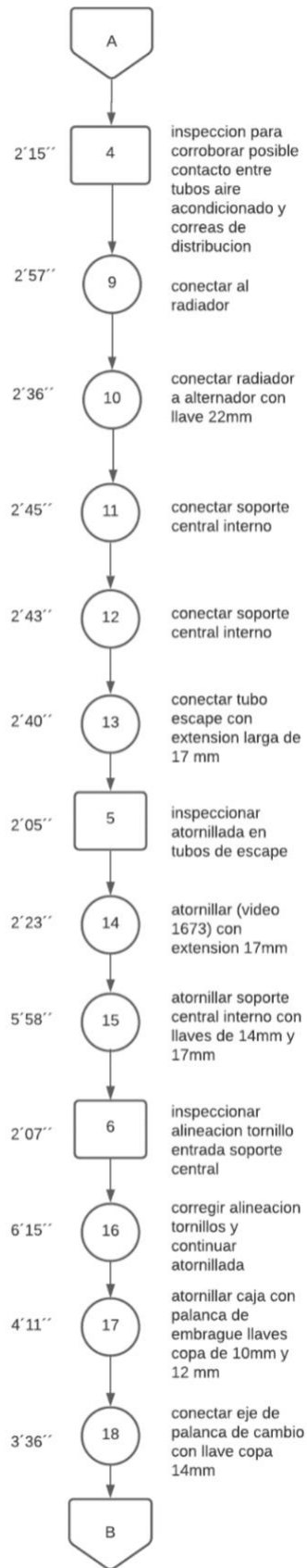
mejora en la reducción del tiempo de ciclo comparado con la medición realizada cuando se ejecuta el entrenamiento convencional.

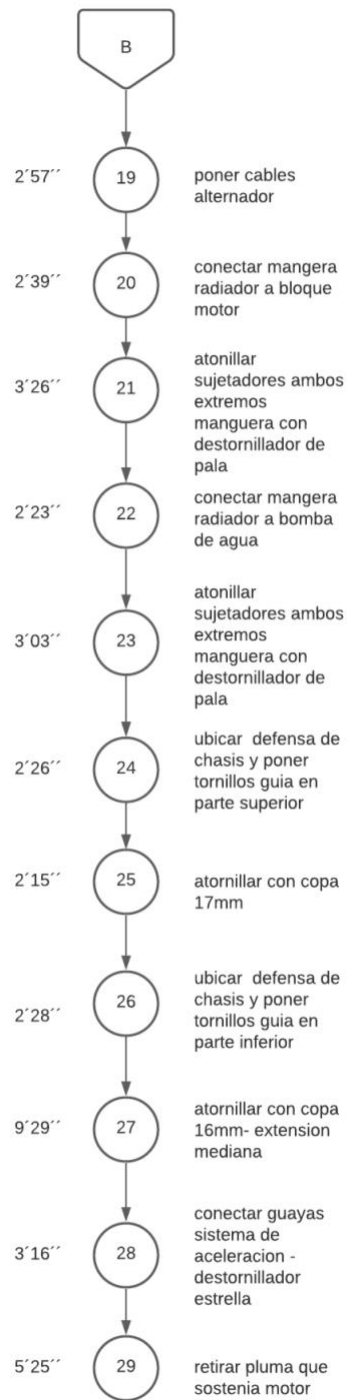
*B. Exploración del mercado*

Para identificar el proceso del montaje de un motor transversal de inyección se desarrolló el diagrama de flujo de las actividades, el cual se puede observar en la

<b>DIAGRAMA SINÓPTICO</b>	
<b>Proceso:</b> Montaje del motor a un carro.	<b>Método:</b> Actual.
<b>Página:</b> 1 de 1	<b>Diagramó:</b> Total Trainers
	<b>Fecha:</b> 25/10/2020







Actividad	Cantidad	Tiempo Minutos
○	29	97'53''
□	6	13'05''
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>110'58''</b>

Fig. 4 . El proceso está compuesto por 8 operaciones y una inspección, que conforman las siguientes partes: Hidráulica, eléctrica, mecánica y de encendido. También, se identificó las actividades que se pueden dificultar al momento de realizar el

montaje del motor al carro, entre ellas se encuentra la falta de una posición ergonómica en el momento del montaje y, el riesgo que al operario le caiga algún tipo de fluido cuando tenga que acceder a la parte inferior del carro. Por ello, se deberá tener en cuenta dichas actividades riesgosas al momento de diseñar el entrenamiento para el operario.

El resultado de los indicadores de desempeño se encuentra en la *TABLA IV*. Se puede observar que actualmente el tiempo del montaje del motor es de 110,58 minutos, por lo tanto, la meta propuesta en el diseño es que el tiempo de montaje sea menor. Por otro lado, en la usabilidad, conocimiento y actitudes se espera obtener los puntajes estipulados (Ver *TABLA IV*). De esta manera, el diseño del entrenamiento se debe enfocar en cumplir con los requisitos de los grupos de interés.

*TABLA IV.*  
*RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO.*

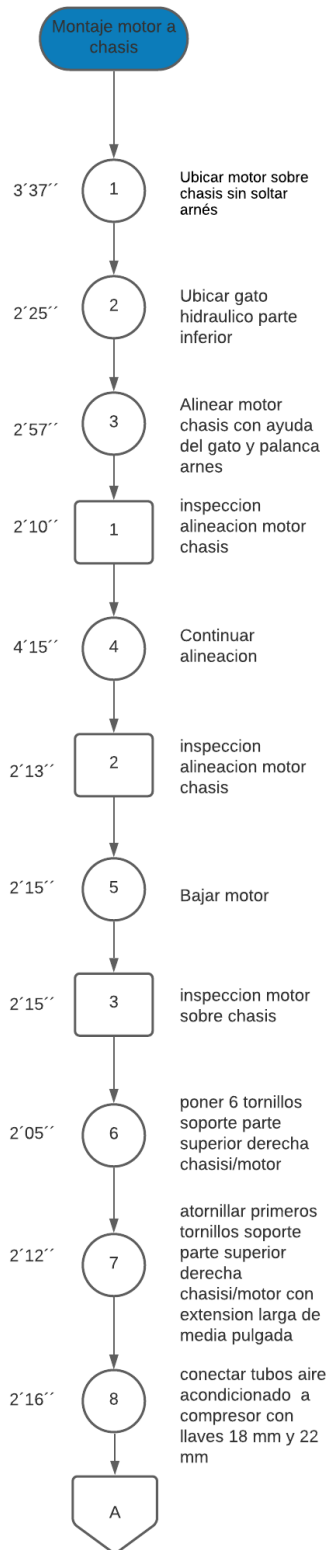
	<b>Variable</b>	<b>Actualidad</b>	<b>Meta</b>
Efectividad del entrenamiento.	Nivel 1: Usabilidad.	No hay datos disponibles	Se espera un puntaje de usabilidad de 75 puntos sobre 100.
	Nivel 2: Conocimiento.	Se realizarán pruebas antes del entrenamiento.	Se espera que el operario obtenga un puntaje igual o superior a 3 sobre 5 para que la evaluación sea aprobada.
	Nivel 2: Actitudes.	No hay datos disponibles	Se espera que el operario obtenga un puntaje igual o superior a 75 puntos sobre 100.
	Nivel 4: Tiempo de ciclo.	El tiempo de ciclo es de 110,58 minutos.	El tiempo de ciclo del montaje del motor debe ser menor a 110,58 minutos.

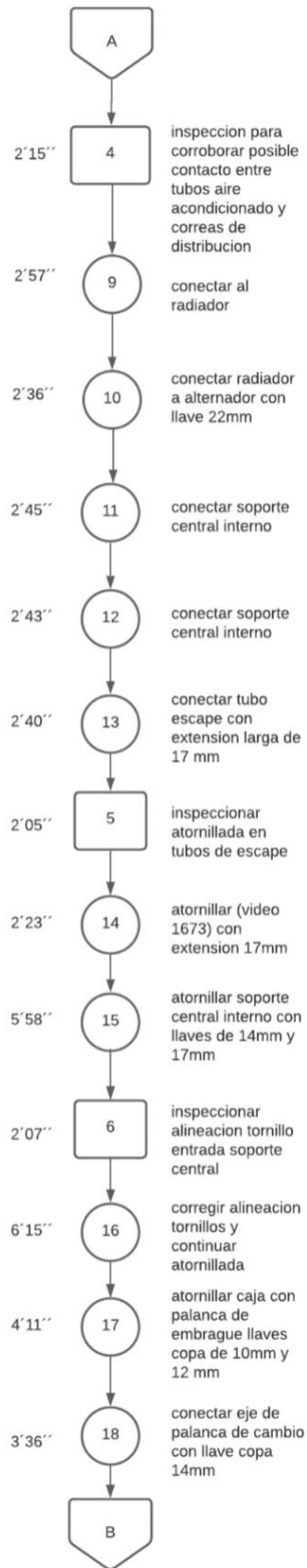
En los resultados de los indicadores de desempeño (Ver *TABLA IV*), se espera que la medición de la usabilidad alcance un puntaje de 75 puntos, puesto que dentro de la escala se le considera un nivel de usabilidad excelente, el cual esperarían las partes interesadas para considerar el entrenamiento como efectivo. Por otro lado, en la evaluación del conocimiento, se definirá el estado actual cuando se realicen las pruebas antes de aplicar el entrenamiento. Tomando como referencia la escala de evaluación de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, en donde se aprueba con un puntaje igual o mayor a 3, la meta es obtener un puntaje igual o mayor a dicho valor.

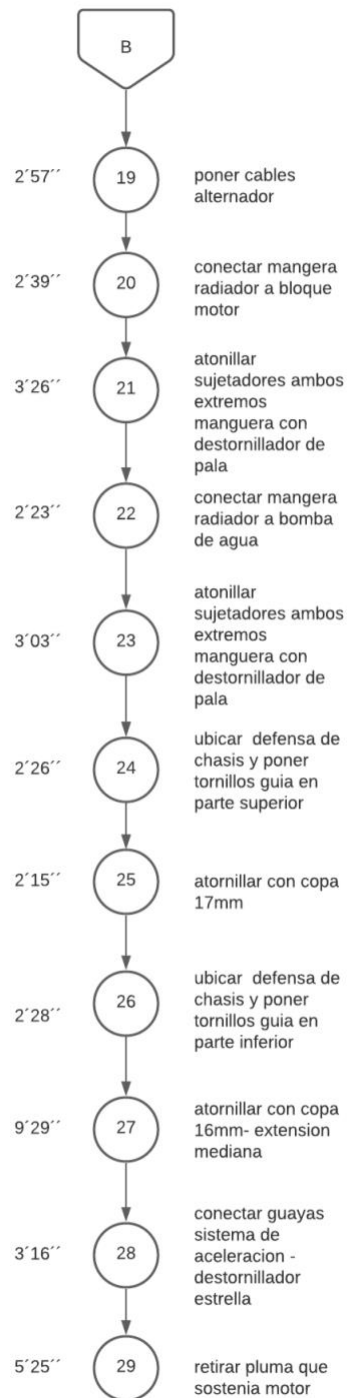
Para la evaluación de las actitudes, se espera alcanzar un puntaje de 75 puntos, el cual indica que el operario tuvo una excelente reacción frente al entrenamiento. Finalmente se desea reducir el tiempo de ciclo de 110,58 minutos para marcar una ventaja competitiva en el diseño del entrenamiento virtual frente a los entrenamientos convencionales, de hecho, en el diagrama

<b>DIAGRAMA SINÓPTICO</b>	
<b>Proceso:</b> Montaje del motor a un carro.	<b>Método:</b> Actual.
<b>Página:</b> 1 de 1	<b>Diagrama:</b> Total Trainers
	<b>Fecha:</b> 25/10/2020

de flujo la



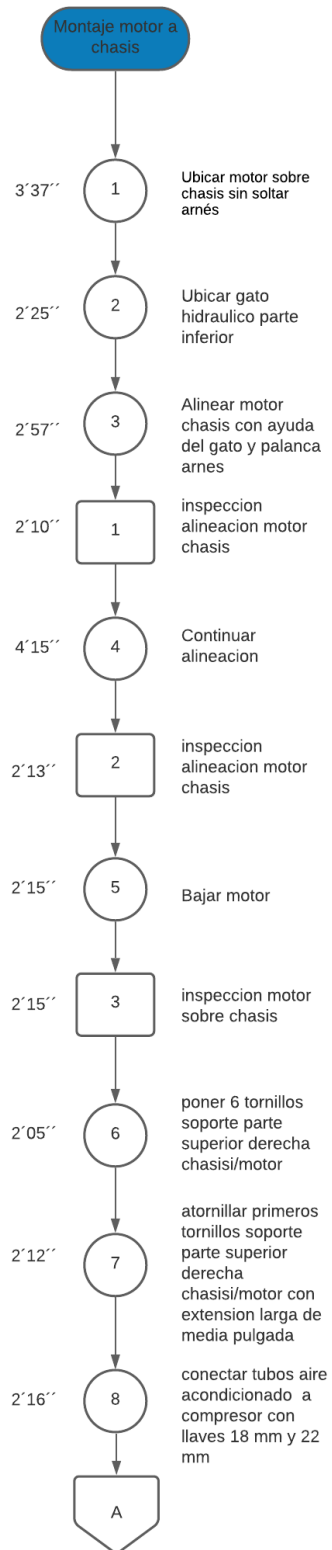


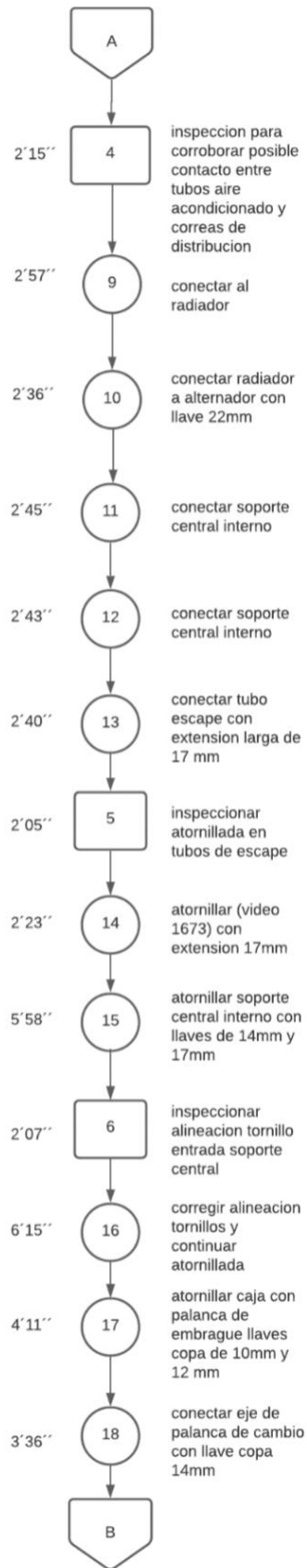


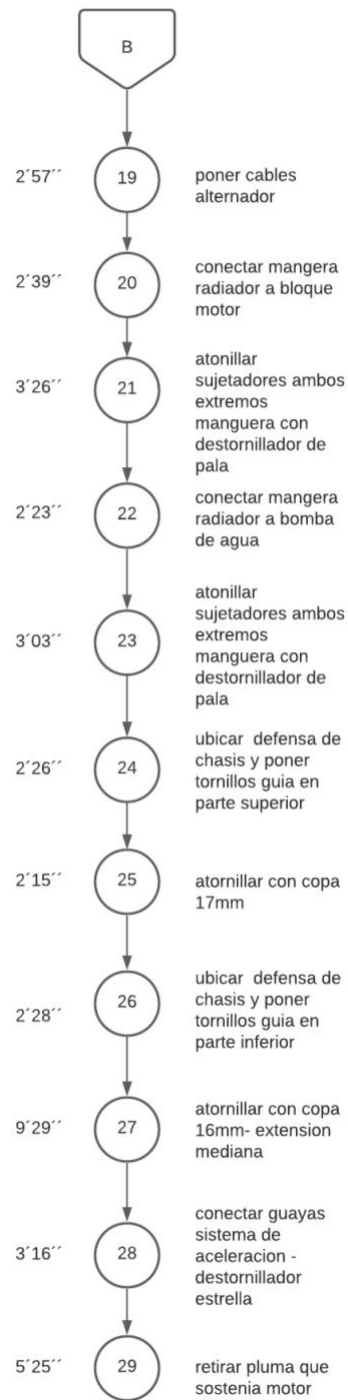
Actividad	Cantidad	Tiempo Minutos
○	29	97'53"
□	6	13'05"
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>110'58"</b>

Fig. 4. se identifica que la operación que lleva más tiempo es la conexión de las mangueras de aspiración, combustible y refrigeración, lo cual podría ser un punto de mejora a evaluar para disminuir el tiempo de ciclo.

<b>DIAGRAMA SINÓPTICO</b>	
<b>Proceso:</b> Montaje del motor a un carro.	<b>Método:</b> Actual.
<b>Página:</b> 1 de 1	<b>Diagramó:</b> Total Trainers
	<b>Fecha:</b> 25/10/2020







Actividad	Cantidad	Tiempo Minutos
○	29	97'53''
□	6	13'05''
Total	35	110'58''

Fig. 4. Diagrama de flujo del montaje de un motor transversal de inyección de un carro.

Para evaluar la oportunidad del mercado de los entrenamientos virtuales en la industria automotriz, se hizo uso de la matriz DOFA, la cual es una herramienta en la que se identifican las fortalezas, debilidades, oportunidades, amenazas y estrategias con el fin de hacer un diagnóstico del proyecto a realizar. La matriz se encuentra dividida en 8 cuadrantes, los cuales son explicados a continuación:

- **Fortalezas (F):** Son los puntos fuertes internos
- **Debilidades (D):** Son los puntos débiles internos.
- **Oportunidades (O):** Son las oportunidades que se deben aprovechar
- **Amenazas (A):** Son los riesgos externos que se deben afrontar
- **Estrategia FO:** Es la estrategia para seguir con base en las fortalezas y oportunidades detectadas
- **Estrategia DO:** Es la estrategia para seguir con base en las debilidades y oportunidades
- **Estrategia FA:** Es la estrategia para seguir con base en las fortalezas y amenazas detectadas
- **Estrategia DA:** Es la estrategia para seguir con base en las debilidades y amenazas detectadas.

TABLA V.  
MATRIZ DOFA DEL DISEÑO DE ENTRENAMIENTOS EN AMBIENTES VIRTUALES.

<p><b>Matriz DOFA: Diseño de Entrenamientos Virtuales Para el Montaje de un motor en la Industria Automotriz.</b></p>	<p><b>Fortalezas (F)</b>  <b>-F1</b> Reducción de costos, traslados, entornos físicos o disponibilidad de equipos que deben operarse.  <b>-F2</b> Reducción prácticas riesgosas sobre maquinaria de alto costo.  <b>-F3</b> Reducción de errores en las actividades laborales.  <b>-F4</b> Mejoramiento del desempeño del operario por medio de la efectividad del entrenamiento.</p>	<p><b>Debilidades (D)</b>  <b>-D1</b> Fuerza de trabajo con baja escolaridad.  <b>-D2</b> Competencia frente entrenamientos tradicionales.  <b>-D3</b> Disidencia en una ciber enfermedad.  <b>-D4</b> Habilidad a la hora de realizar el entrenamiento</p>
<p><b>Oportunidades (O)</b>  <b>-O1</b> La situación actual del coronavirus SARS-CoV-2, impulsa a las empresas a invertir en las herramientas virtuales.  <b>-O2</b> El entrenamiento virtual, genera un acercamiento a la industria 4.0.</p>	<p><b>Estrategia FO:</b>  <b>-O2 F4</b> Ofrecer el ambiente virtual a las empresas del sector automotriz en el montaje del motor al carro.  <b>-O2 F2</b> Contribuir al desarrollo de la industria 4.0 a partir de la reducción de prácticas riesgosas</p>	<p><b>Estrategia DO:</b>  <b>-D1O1O2</b> Aplicar al diseño del entrenamiento los métodos de aprendizaje basado en información y demostración por medio de un video e incluir el aprendizaje basado en práctica, para explicar la utilización del entrenamiento virtual.</p>
<p><b>Amenazas (A)</b>  <b>-A1</b> Empresas que desarrollan entrenamientos virtuales.  <b>-A2</b> Resistencia al cambio por parte de las empresa u operarios de entrenamientos convencionales a virtuales.</p>	<p><b>Estrategia FA:</b>  <b>-A1F4 Realizar</b> un benchmarking con el propósito de analizar a las otras empresas que hacen entrenamientos convencionales.  <b>-A2 F1 F3</b> Mostrar a las empresas del sector automotriz los beneficios que ofrecen los entrenamientos virtuales.</p>	<p><b>Estrategia DA:</b>  <b>-D3A2</b> Diseñar un plan de entrenamiento, de forma que se tenga en cuenta la salud de los operarios.  <b>-D1 A2</b> Desarrollar un entrenamiento virtual fácil de usar que se asemeje al entrenamiento convencional para reducir el impacto</p>

Con base en la TABLA V. se observa que la oportunidad de mercado identificada son las empresas del sector automotriz, sector al cual se va a diseñar el entrenamiento virtual para los operarios en el montaje del motor de un carro. Por otro lado, en cuanto a las fortalezas, se puede evidenciar que el diseño del entrenamiento virtual conlleva una variedad de beneficios, tales como reducción de costos, traslados y entornos físicos, dado que se hará uso de ambientes virtuales con experiencias sensoriales.

Se identificaron las oportunidades teniendo en cuenta la nueva normalidad, entre la cual se encuentra la situación actual del coronavirus SARS-CoV-2, haciendo que las empresas consideren el innovar y acercarse a la industria 4.0 [19]. En las debilidades, se encuentra la ciber enfermedad que se puede desarrollar al exponer al operario a un ambiente virtual, las empresas que diseñan entrenamientos virtuales que se podrían ver como una competencia y la falta de aprendizaje de la fuerza laboral al momento de desempeñar su tarea. Por ello, se identificaron estrategias que permitan superar las amenazas y debilidades que se pueden presentar en el diseño del entrenamiento con ambientes virtuales, de igual forma, se determinaron estrategias que permiten potencializar las oportunidades y ventajas presentadas anteriormente.

Para analizar el nivel de la competencia que puede tener el diseño del entrenamiento virtual dentro del sector automotriz, se utilizó la herramienta de Las 5 Fuerzas de Porter que se observa en la Fig. 5. El diagrama se encuentra dividido en 5 fases, las cuales son las siguientes:

- **Nuevos entrantes:** Amenaza de nuevos entrantes que pueden ofrecer los mismos productos y/o servicios y se adueñen de esa parte del mercado.
- **Proveedores:** Hace referencia al poder de negociación que se tiene con los proveedores.
- **Clientes:** Son las personas que van a hacer uso del producto o servicio.
- **Productos sustitutos:** Productos o servicios que pueden reemplazar los productos de la empresa.
- **Rivalidad de la industria:** Rivalidad existente entre los competidores.

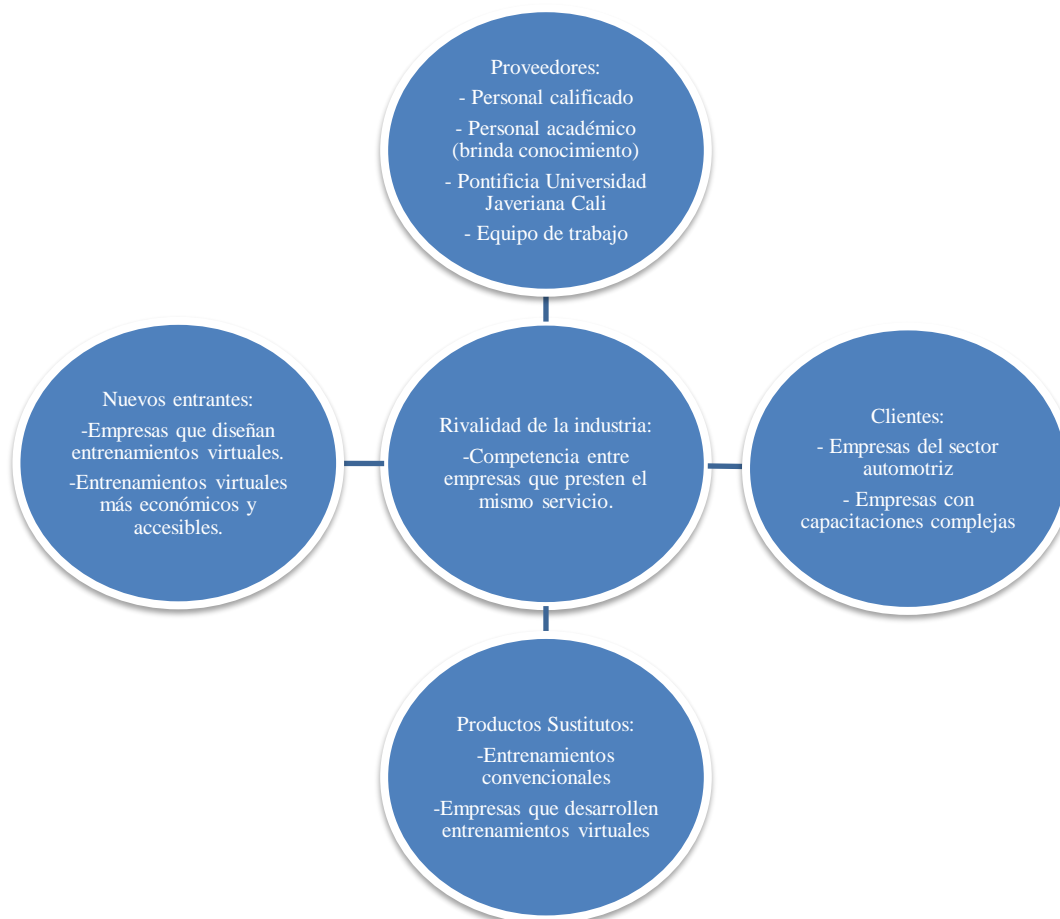


Fig. 5. Fuerzas competitivas de Porter.

En la Fig. 5. se puede interpretar que se debe tener un poder de negociación con los proveedores, los cuales están compuestos por personal calificado que se necesita para desarrollar la programación en el Software que se vaya a utilizar. Por otro lado, el personal académico es el que brinda las herramientas y conocimientos necesarios para desarrollar el entrenamiento en el entorno virtual. En cuanto a recursos físicos, se considera la universidad, puesto que brindará los espacios para realizar el diseño. Finalmente, el grupo de trabajo supe tanto recurso físico como herramientas para la resolución del proyecto. Es importante establecer alianzas a largo plazo o considerar ampliar la cartera de proveedores para no depender de un solo proveedor.

En los clientes, se identificaron principalmente las empresas que requieren capacitación no convencional para reducir costos, riesgos laborales u otros factores que pueden ser importantes para el mismo dado a las capacitaciones complejas. Se resalta que un cliente específico son las empresas ensambladoras del sector automotriz.

Los productos sustitutos tienen una gran influencia en el proyecto, ya que son empresas con características similares al proyecto que se está desarrollando. En este caso, se debe tener en cuenta el entrenamiento convencional y las empresas que se encuentran desarrollando entrenamientos virtuales.

En nuevos entranes, se encuentran las empresas que diseñan entrenamientos virtuales como una competencia directa, teniendo en cuenta factores como precio al público, costo de desarrollo y curva de aprendizaje del entorno virtual. Los nuevos entranes son de vital importancia para darle una ventaja competitiva al producto y/o servicio.

Finalmente, se concluye que la rivalidad industrial se tiene con la competencia directa. Actualmente este tipo de servicios son poco comunes en el país y el nivel de competencia es bajo. Sin embargo, en el momento en que este incursione dentro de la región, muchas compañías querrán participar y se destacará el que presente el mejor servicio a un precio razonable.

Algunos de los aspectos que facilitan el aprovechamiento de la oportunidad es el acceso a la tecnología, ya que es la herramienta principal en el diseño del entrenamiento virtual. Por medio de esta, se capacitará a los operarios en el montaje del motor de carro. Asimismo, la innovación es un elemento importante, dado que se deberá hacer uso de ideas innovadoras para simular el montaje del motor de un carro en el entrenamiento virtual, por medio de objetos que le permitan al operario interactuar con ellos. Sin embargo, algunos de los aspectos internos que puede obstaculizar el aprovechamiento de la oportunidad es el talento humano en cuanto a la falta de conocimiento de las herramientas tecnológicas.

Ahora bien, en los aspectos externos, la normatividad dada por entes gubernamentales facilita los lineamientos para tener en cuenta para que el trabajador se encuentre seguro a la hora de desarrollar el procedimiento. Por otro lado, la competencia de las empresas que diseñan entornos virtuales puede influir en el costo del diseño, dada a la oferta y demanda. Además, el desarrollo tecnológico permite hacer que los procesos en la industria sean eficientes, lo cual hace que haya un interés de las empresas del sector automotriz por innovar en sus procesos.

Teniendo en cuenta los aspectos internos y externos, se pueden desarrollar estrategias que permitan tener en cuenta los requisitos de los interesados (Ver *TABLA V.*), de modo que se pueda realizar un diseño de un entrenamiento que facilite el aprendizaje de los operarios y cuente con beneficios que cumplan satisfactoriamente las metas reflejadas en los indicadores.

## IV. ANALIZAR

### A. Análisis de Oportunidad

Para identificar los factores más relevantes en el diseño del entrenamiento virtual para los operarios, se realizó la casa de la calidad, QFD (por sus siglas en inglés, *Quality function deployment*), la cual se puede observar en la Fig. 6. En ella se tuvo en cuenta los requerimientos de las partes interesadas, los requerimientos a considerar en el diseño y el análisis de la competencia.

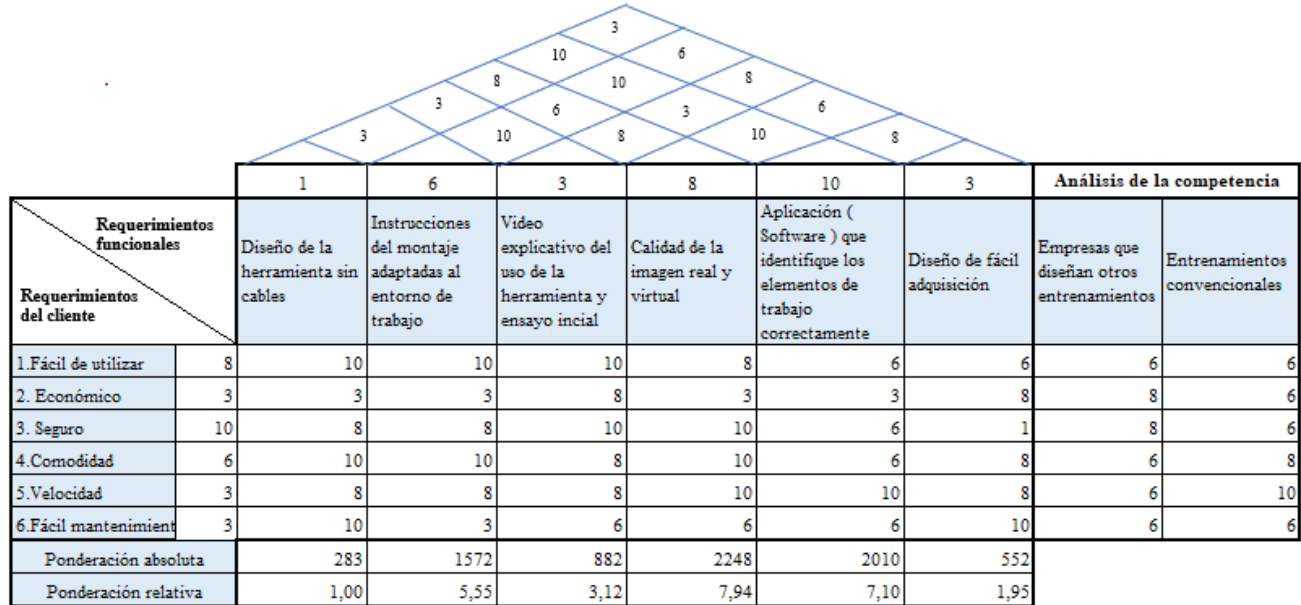


Fig. 6. Casa de la calidad.

Para establecer los requerimientos del cliente, se consideró la información suministrada en la entrevista por el Ing. Lopera (Ver Anexo 4) y la visita al centro de diseño tecnológico industrial del SENA. Se identificó que es fundamental que el entrenamiento sea fácil de usar por parte de los operarios. Además, es importante tener en cuenta las medidas de bioseguridad exigidas por el ministerio de salud. Finalmente, el diseño del dispositivo no debe dificultar la realización de las actividades del operario de forma que pueda convertirse en un riesgo laboral.

En cuanto a los requerimientos del cliente, el entrenamiento deberá ser económico, puesto que se realiza con frecuencia y para varios operarios. También, el diseño debe de ser de fácil mantenimiento, en caso de que el sistema presente una falla se pueda solucionar de forma rápida. Ahora bien, es de gran relevancia la velocidad, es decir, que el entrenamiento ayude al operario a desempeñar su labor en un menor tiempo. Por ello, el tiempo del montaje del motor deberá ser menor a 110,58 minutos, indicando que el entrenamiento fue efectivo.

En el análisis de la competencia, se pudo identificar que frente a las empresas que diseñan entrenamientos tradicionales o virtuales, se podría realizar un entrenamiento que le brinde al cliente ventajas atractivas. El diseño deberá contar con ciertas características que cumplan con los requerimientos de las partes interesadas, tales como seguridad, comodidad, velocidad, fácil mantenimiento y fácil de usar. Teniendo en cuenta el QFD, se pudo establecer la prioridad en la Fig. 7. de los requerimientos funcionales que permiten caracterizar el diseño.

Prioridad	
Calidad de la imagen real y virtual	1
Aplicación ( Software ) que identifique los elementos de trabajo correctamente	2
Instrucciones del montaje adaptadas al entorno de trabajo	3
Video explicativo del uso de la herramienta y ensayo inicial	4
Diseño de fácil adquisición	5
Diseño de la herramienta sin cables	6

Fig. 7. Prioridad requerimientos funcionales.

En primer lugar, la calidad de la imagen es primordial, puesto que ayuda a que el operario pueda identificar los elementos del área de trabajo, contribuyendo a la comodidad y seguridad del entrenamiento. Segundo, el software utilizado deberá dar las instrucciones al trabajador que correspondan a cada actividad del proceso del montaje que está realizando. Tercero, las instrucciones deben estar adaptadas a su entorno, de modo que el operario se encuentre familiarizado con el área de trabajo en el cual realiza el montaje.

Los últimos tres requerimientos funcionales son necesarios, sin embargo, no son de alta prioridad para el cliente. Se puede observar que el video explicativo del uso de la herramienta y ensayo inicial, es una actividad que se debe realizar como fase inicial al entrenamiento. Por otro lado, si el diseño cumple con todos los requerimientos del cliente y se desarrolla la herramienta sin cables (aunque favorece a la seguridad), no se deben de concentrar todos los esfuerzos del diseño en realizarlo de esa forma.

Con el fin de conocer a profundidad la oportunidad de mercado del entrenamiento virtual para los operarios, se utilizará la herramienta de las 4 P del mercadeo. Este es un concepto que representa los cuatro pilares básicos de cualquier estrategia de mercadeo: Producto, Precio, Plaza y Promoción. Cuando las 4 están en equilibrio, tienden a influir y a conquistar al público. En cuanto al producto, se deberá definir cuáles son las características y atributos que contiene el servicio que se está ofreciendo. En el precio, se deberá indicar el valor cobrado por el servicio que se ofrece a los clientes. En la plaza se deberá definir dónde y cómo el producto o servicio es accesible a los consumidores. Finalmente, la promoción será la forma de promover el servicio, hacer que el mensaje de mercadeo llegue a las personas indicadas, en este caso, las empresas automotrices [26]. Por lo anterior, la Fig. 8 muestra el resumen de la estrategia de mercadeo.

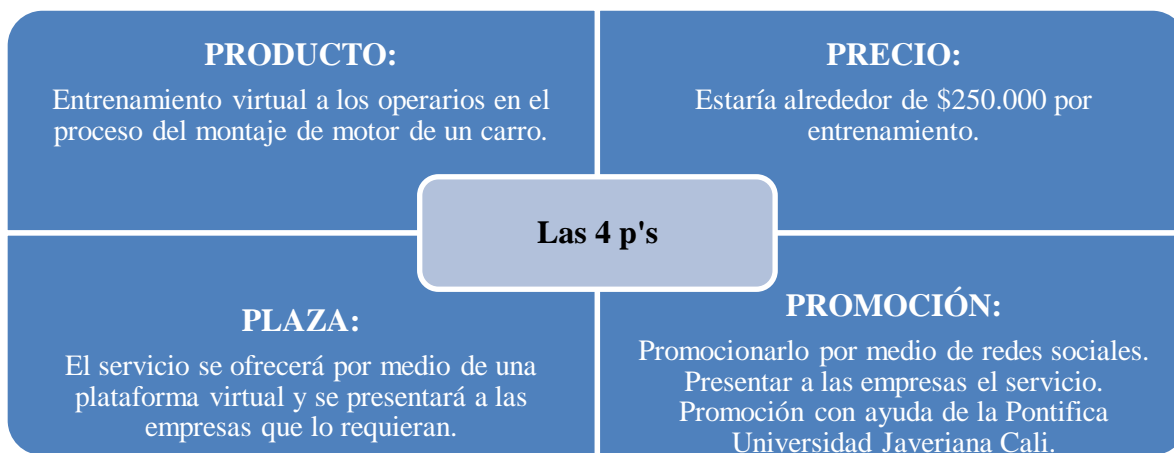


Fig. 8. Las 4 P del mercadeo.

El producto que se ofrecerá a los clientes es un entrenamiento virtual para los operarios en el proceso de montaje del motor de un carro. El precio que deberán pagar los clientes potenciales por este servicio estará alrededor de \$250.000. Este precio se definió por medio de información consultada en la cual, empresas prestaren el servicio de entrenamiento virtual a las personas, se encontró un precio que varía desde \$225.000 hasta \$350.000 [27]. Por otro lado, el servicio se ofrecerá por medio de una plataforma virtual, los operarios podrán acceder a esta al momento del entrenamiento. El servicio se presentará a las empresas automotrices interesadas en implementar el entrenamiento virtual. Por último, el servicio se promocionará por medio de redes sociales, dando a conocer cuáles son los beneficios. También, se dará a conocer con la ayuda de la Pontifica Universidad Javeriana Cali, la cual promocioe el diseño del entrenamiento virtual realizado.

Finalmente, teniendo en cuenta el QFD y las 4 P de mercadeo, la tendencia de la oportunidad de mercado es proponer un diseño al cliente, en el que el operario pueda realizar un entrenamiento que tenga ventajas en cuanto a una reducción del tiempo de ciclo, el costo y la seguridad frente a otros entrenamientos convencionales o virtuales. Para ello, se debe tener en cuenta que las instrucciones que recibe el operario en el diseño sean claras y no afecten su actividad a la hora del montaje, ya que este puede tener experiencia o ser inexperto en el proceso. De esta manera, la herramienta será de gran relevancia para el operario al momento de realizar sus actividades operacionales y, favorecerá la adquisición de nuevos conocimientos y aprendizaje.

## B. Revisión de literatura

Con el fin de encontrar alternativas adecuadas para la solución de los problemas anteriormente descritos, se realizó una revisión de literatura relacionada con entrenamientos virtuales en la industria automotriz. Se recopiló información de múltiples fuentes de la base de datos de la Pontificia Universidad Javeriana, entre las cuales se encontraron artículos y textos académicos. Con dicha recolección, se obtuvieron diferentes estudios enfocados a la implementación de estos entrenamientos para mejorar productividad, eficiencia y disminuir costos. Como se puede ver en la Fig. 9. para el año 2019 el uso de entrenamientos virtuales representa un 27.2% del total de aplicaciones de realidad aumentada en la industria automotriz [28].

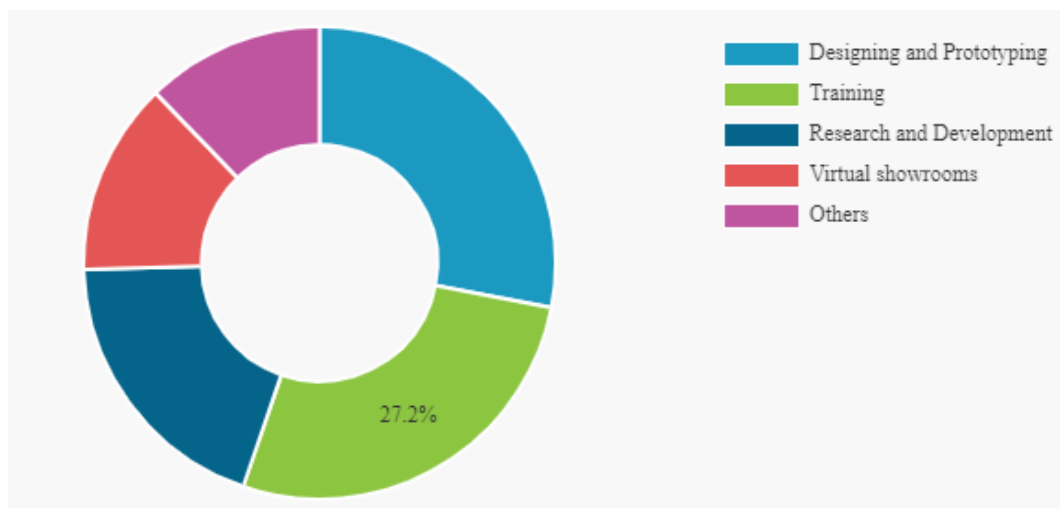


Fig. 9. Global virtual reality in automotive market share by application 2020 recuperado de [28].

Los estudios desarrollados por Gong et al, (2020) [29] y Werrlich et al, (2018) [30], tienen como objetivo obtener eficiencia en cuanto al proceso de aprendizaje y a su vez, seguridad de un entrenamiento virtual, aunque hayan utilizado ambientes virtuales diferentes, se resalta que, con el enfoque en la eficiencia, es importante entender el entorno del operario y generar estrategias para ayudar al operario a adaptarse a la herramienta. Ambos estudios presentan el mismo problema, el cual es la adaptabilidad de la herramienta por parte del operario. Razón por la cual optan por evaluar el nivel 1 de la escala Kirkpatrick por medio del cuestionario de usabilidad. Por otro lado, Lampen et al (2019) [31] muestra cómo es el diseño de un entrenamiento basado en realidad aumentada. Un problema que encontraron fue la manera en que los operarios interactuarían con el sistema, para esto, los desarrolladores optaron por basarse en la usabilidad de la herramienta y en un cuestionario originario del cuestionario de NASA-RTLX. Un problema común entre los estudios recopilados es la dificultad para adaptarse al entorno por parte del operario, para ello, se utilizaron funciones de conocimiento de actitudes basados en usabilidad.

Behringer et al (2019) [32] describe como se deben implementar prototipos que aplican métodos de creación rápida y de bajo costo como un instrumento de asistencia a la capacitación de empleados en la industria automotriz y aviación basado en MR. El problema presente en este estudio es el recurrente en la revisión de literatura y es la adaptabilidad de la herramienta. Es por esto por lo que deciden implementar el nivel 1 de la escala Patrick usabilidad y basarse en los resultados obtenidos por el cuestionario de usabilidad. Además, en el estudio optaron por dar incentivos a los operarios que presentaran mayor cohesión con el sistema después de 2 semanas de uso. El entrenamiento consistía en la implementación de MR a través de la interfaz HTC VIVE.

Por medio de la revisión de literatura se puede conocer soluciones e implementaciones. Por ejemplo, Behringer et al (2019) [32] consigue reducir costos de un entrenamiento destinado para 25 nuevos operarios en noviembre de 2018 de 7.500 euros/mes a 4.320 euros/mes [32], logrando una reducción de aproximadamente 42%. También, con la implementación de esta tecnología disminuyó la duración del entrenamiento pasado de 35 días (convencional) a 27 días (nuevo entrenamiento) [32]. Otro ejemplo destacable es Neges et al. (2018) [33], logra incorporar tareas de mantenimiento complejas en un entorno virtual, para controlar en todo momento el proceso, aunque las cifras que se estipulan en el documento no son tan alentadoras (comparado con el estudio pasado), también se logra una disminución de costos pasado de 6450 dólares/mes a 5850 dólares/mes [33].

La mayoría de las soluciones encontradas arrojan una reducción de costos, tiempos o aumento de la productividad, pero no representan confiabilidad, pues en todos los casos el tamaño de muestra es pequeño comparado con la población donde actúa cada uno de estos estudios. No obstante, la solución que más redonda todos los casos es la implementación del entorno virtual como método de reducción de costo y carga cognitiva a la hora de entrenar a un nuevo operario [31] [34].

A lo largo de la literatura recopilada, se puede evidenciar que los estudios se basan en la evaluación del nivel 1 de la escala Kirkpatrick y solo se centran en esta para analizarlos entrenamientos que cada uno de ellos plantea. A su vez, este proyecto que se está desarrollando se basa en 3 de los 4 niveles que tiene el modelo. Por tanto, abarca mayor campo de acción y tiene en cuenta factores para desarrollar el entrenamiento. De esta manera, se puede evidenciar de forma crítica el impacto o carga cognitiva que podría llegar a producirse a la hora de enfrentarse a esta nueva tecnología por parte del operario. A continuación, la *TABLA VI* presenta un resumen de literatura relevante para este proyecto.

*TABLA VI.  
REVISIÓN DE LITERATURA.*

<b>Autor, año</b>	<b>Objetivo del entrenamiento</b>	<b>Participantes en el experimento</b>	<b>Método de entrenamiento</b>	<b>Tipo de ambiente virtual</b>	<b>Hardware usado</b>	<b>KSAs evaluados</b>	<b>Nivel de Kirkpatrick</b>	<b>Indicador de evaluación</b>
Ordaz et al. (2015) [35].	Determinar el impacto de la experiencia de juego en el proceso de aprendizaje de un operario de fabricación utilizando el sistema de simulación y entrenamiento virtual (VISTRA), un juego serio que simula entornos de fabricación para capacitar a los operadores en la realización de tareas manuales.	Operarios (n=10).	Basado en demostración y práctica.	VR.	VISTRA: Cámara Microsoft Kinect, Nintendo Wii Mote y computador.	Ninguno, pero incluye la evaluación de la herramienta.	Nivel 1.	Usabilidad.
Gong et al. (2020) [29].	Investigar estrategias de diseño de interacción para el sistema de realidad virtual multiusuario, utilizado en el contexto de fabricación a través de un estudio de caso de automoción.	No es claro.	Basado en demostración y práctica.	VR.	HMD.	Ninguno, pero incluye la interacción del diseño con usuarios.	Nivel 1.	Usabilidad.
Lampen et al. (2019) [31].	Diseñar un entrenamiento basado en realidad aumentada, utilizando datos de simulación humana en el contexto de métodos de asistencia en el trabajador para aliviar la carga cognitiva durante las tareas de montaje manual.	Operarios (n=24).	Basado en demostración y práctica.	AR	Windows Platform (UW O), Unity 3D, 017.4.11 con HoloToolkit 2017.4.2.0.	Ninguno, pero incluye la interacción del diseño con el usuario.	Nivel 1.	SUS (Usabilidad).
Qiu et al. (2013) [36].	Desarrollar metodologías de diseño asistido por computadora para la simulación, planificación y formación de montaje, además, la captura de movimientos y representación multimodal y una metodología para el diseño, planificación y evaluación.	No es claro.	Basado en demostración, simulación y práctica.	CAD, VR y AR.	IR cameras.	Ninguno, pero incluye la interacción del diseño con el usuario.	Nivel 1.	Usabilidad.
Muñoz et al. (2019) [34].	Diseñar una interfaz basada en realidad mixta para detectar los defectos de una carrocería. Desarrollar conceptos y nociones claves para la construcción de entornos virtuales en el ámbito industrial utilizando tecnología asequible y de fácil manutención.	Staff grupo investigativo Universidad Politécnica de Valencia.	Basado en conocimiento y práctica.	MR.	Microsoft® HoloLens.	Ninguno, pero incluye nivel de inspección por parte del dispositivo.	Nivel 1.	Usabilidad.
Neges et al. (2018) [33].	Describir un enfoque de virtualidad aumentada mediante la integración de elementos operativos reales en un entorno virtual para pantallas montadas en la cabeza. Con el resultado, es posible separar completamente la percepción visual y háptica. También, el alto grado de inmersión permite la simulación de diversas condiciones de estrés mientras se entrena las tareas de mantenimiento.	Estudiantes n=17.	Basado en demostración, conocimiento y práctica.	AV.	HTC Vive.	Ninguno, pero incluye la adaptabilidad al sistema por parte del operario.	Nivel 1.	Usabilidad.

Autor, año	Objetivo del entrenamiento	Participantes en el experimento	Método de entrenamiento	Tipo de ambiente virtual	Hardware usado	KSAs evaluados	Nivel de Kirkpatrick	Indicador de evaluación
Behringer et al. [2011] [32].	<p>Demostrar cómo diferentes prototipos que aplican métodos de creación rápida de prototipos de bajo costo se pueden aplicar como poderosos instrumentos de asistencia al desempeño y de apoyo a la capacitación, mediante los cuales se discuten los requisitos y las fases de análisis de las necesidades del usuario, así como los problemas de diseño de interacción e interacción persona-computadora, modelado del usuario, usabilidad cuestiones de ingeniería, creación de prototipos y evaluación.</p>	N=25.	Basado en conocimiento y aprendizaje.	AR – MR.	HTC vive.	Ninguno, pero incluye la adaptabilidad a la herramienta.	Nivel 1.	Usabilidad.
Werrlich et al. (2018) [30].	<p>Mejorar la eficiencia y la calidad de las tareas de montaje y mantenimiento a partir del uso de herramientas basadas en AR con el objetivo de cerrar la brecha presente en la investigación comparando las instrucciones de HMD con la capacitación presencial utilizando una tarea de ensamble de motor de la vida real.</p>	Operarios N=14.	Basado en experiencia.	AR.	HMD.	Ninguno, pero incluye la adaptabilidad de la herramienta.	Nivel 1.	Usabilidad.
Leu et al. (2013) [37].	<p>Modelo de ensamblaje basado en AR y la herramienta de gemelos digitales (DT) para mejorar la precisión y el rendimiento del ensamble, además, afirma la importancia de la AR en un futuro cercano para ensamblaje inteligente de productos complejos.</p>	No es claro.	Basado en práctica.	AR, DT.	CMOS/CCD cameras, OpenCV.	Ninguno, pero incluye la adaptabilidad al sistema por parte del operario.	Nivel 1.	Usabilidad.

### C. Exploración de ideas y selección de alternativas

Con el fin de encontrar diferentes soluciones a la oportunidad identificada, se decidió utilizar el método Disney. Esta metodología consiste en tres pensamientos: el soñador, el realista y el crítico. La idea inicial es separada por cada fase, la cual corresponde a un filtro que permite sentar la base del nuevo producto o servicio (Ver Anexo 7).

Para aplicar la metodología, las ideas se enfocaron en responder ¿cómo se iba a realizar el entrenamiento?, ¿qué tipo de tecnología a utilizar?, ¿qué método de entrenamiento se va a utilizar?, ¿cuál hardware y software se va a utilizar?, lo anterior, dio como resultado 5 alternativas que se detallan a continuación:

#### ***Alternativa 1: Google Cardboard***

Realizar el diseño del entrenamiento virtual por medio de AR, utilizando cómo hardware las gafas Google Cardboard (Ver Fig. 10. Google Cardboard..), con un costo aproximado de 170.000 pesos colombianos [38]. Estas gafas, permiten llevar la realidad virtual a un smartphone, lo que hace es que los lentes actúan como una lupa, que magnifican la imagen para que llene casi todo el campo de visión [39]. La imagen que aparecerá en la pantalla, ligeramente compensada para ambos ojos, transmite una sensación de espacialidad (3D).

Para diseñar el entrenamiento, se utilizará el software Unity 3D y Vuforia, este será desarrollado por el equipo de trabajo con ayuda de estudiantes de pregrado de ingeniería de sistemas. El método de entrenamiento se basa en demostración, donde el operario observa a través de la pantalla el paso a paso del montaje del motor al carro.



Fig. 10. Google Cardboard.

### Alternativa 2: HTC VIVE

Realizar el diseño del entrenamiento virtual por medio de AR, utilizando cómo hardware las gafas HTC VIVE, la cual tiene un costo aproximado de 3.158.990 pesos colombianos [40]. Para crear el entrenamiento se utilizará el software Unity 3D, este será desarrollado por un estudiante de ingeniería de sistemas. Por otro lado, el equipo de trabajo diseñará el método y secuencia de pasos del entrenamiento. El método de entrenamiento se basa en práctica, donde el operario interactúa con objetos virtuales que corresponden al montaje del motor al carro.



Fig. 11. HTC VIVE recuperado de [41].

### Alternativa 3: Oculus Rift S

Realizar el diseño del entrenamiento virtual por medio de las Oculus rift S suministradas por la universidad, las cuales tienen un valor de 399 USD [42]. Estas cuentan con un visor con cuatro cámaras, speakers y es completamente ajustable a la cabeza y ojos de cada usuario, además, cuenta con dos controles o mandos y dos sensores, los cuales ayudan a la ubicación espacial del operario.

Para diseñar el entrenamiento, Oculus cuenta con una plataforma para poder diseñar cualquier ambiente virtual. Así lo afirma en su sitio web: “Puedes desarrollar en toda la plataforma de Oculus con tu motor de juego favorito o con nuestros SDK nativos, da igual si estás desarrollando un juego de realidad virtual, una experiencia social o una aplicación educativa o de entretenimiento” [43]. Para ello, se necesita la ayuda de otro estudiante de pregrado de la Pontificia Universidad Javeriana Cali de Ingeniería de Sistemas que trabaje paralelamente con el equipo. Mientras los integrantes recolectan datos de tiempos, medidas tanto del motor como del espacio físico y el método y diseño del entrenamiento, los estudiantes de Ingeniería de Sistemas, se encargará de ingresar toda la información recolectada como código al software de Oculus y así, obtener el entrenamiento virtual.

Estas *head mounted display*, permitirían que el entrenamiento se desarrolle con realidad mixta, y su subcategoría realidad virtual. Además, genera gran inmersión del usuario al poder manipular elementos del ambiente virtual con las manos y hacer diferentes gestos y actividades con las mismas, como tomar las herramientas, colocar tornillos y todo lo relacionado con el montaje del motor al carro.



Fig. 12. Oculus Rift S, recuperado de [42].

#### **Alternativa 4: Microsoft HoloLens**

El hardware que se usará son las gafas Microsoft HoloLens, con un costo medio de 3.849 euros (incluidos impuestos) [44]. Esta tecnología se basa en realidad mixta y consiste en traer objetos virtuales al mundo real. Una característica por la cual se distinguen las Microsoft HoloLens es la capacidad de tener las manos libres de quien opera las gafas, ya que, para tener el sentido háptico las gafas convencionales utilizan una serie de controladores situado en las manos con giroscopios y sensores de movimiento. En cambio, las HoloLens con un ingenioso diseño y tecnología de punta, incursiona con sensores de movimiento, proximidad, giroscopios dentro de las propias gafas [44]. El proceso consiste en virtualizar de manera autónoma todo el entorno en el cual se encuentra el operario para que las gafas posicionen el objeto virtual justo donde quieren que esté.

En cuanto al desarrollo de software que se necesita para esta tecnología, Microsoft brinda la oportunidad de contratar directamente con ellos el software prediseñado ajustándose a las necesidades que cualquier cliente desee [45]. También, brindan plantillas de algunos entornos y objetos para que el usuario lo programe a su gusto. Por último, brinda la oportunidad de desarrollar todo el entorno virtual desde cero, para esto, se requerirá conocimiento “medio” de programación en C++ y Python según la propia página de Microsoft [46]. Esto se llevará a cabo junto con un estudiante de ingeniería de sistemas que aporte el conocimiento necesario para el desarrollo del entorno virtual.



Fig. 13. Microsoft HoloLens, recuperado de [46].

### Alternativa 5: Google Glasses

El entrenamiento virtual se diseñará mediante las Google Glasses, el cual es un dispositivo en forma de gafas, pero sin cristales. Su principal característica es que, mediante un mini proyector, se proyecta en la retina una imagen virtual que se mezcla con la imagen real que se ve con los ojos. Se superpone una capa de información sobre las imágenes vistas, como si dicha información existiera en realidad [47]. Estas gafas tienen un costo aproximado de 999 dólares [48].

El entrenamiento sería basado en práctica, dado que las Google Glasses cuentan con el Software en el cual, el operario podrá interactuar con el entrenamiento virtual. Las gafas cuentan con una plataforma de aplicaciones que la empresa Streye ha desarrollado con distintas finalidades. En este caso, se podrá usar la aplicación Streye Checkr, una aplicación que contiene una lista de tareas que se ven en el visor de las gafas, para seguirlas paso a paso e ir las completando con instrucciones e información correcta [49].



*Fig. 14. Google Glasses, recuperado de [50].*

Una vez identificadas las alternativas, se realizó el análisis jerárquico AHP (Ver Anexo 8), teniendo en cuenta los criterios de selección y la prioridad de los requerimientos funcionales, resultado del QFD (Ver Fig. 7.), que se explican a continuación:

- Calidad de la imagen real y virtual: Es importante que el operario pueda identificar los objetos que está visualizando a través de la pantalla para poder reconocer los elementos y posteriormente ordenarlos. Además, contribuye en la seguridad, en cuanto a que el operario no se vaya a tropezar con un elemento físico.
- Aplicación (Software) que identifique los elementos de trabajo: El software debe tener la capacidad de identificar los objetos para que se puedan adicionar las instrucciones virtuales.
- Instrucciones de montaje adaptadas al entorno de trabajo: Se darán unas instrucciones teóricas, con las cuales el operario se encuentre familiarizado con las actividades que debe realizar.
- Video explicativo del uso de la herramienta y ensayo inicial: Explicación teórica sobre cómo se debe manipular la herramienta.
- Diseño de fácil adquisición: Se debe tener en cuenta el costo del Software y Hardware, de manera que sea más económico que los entrenamientos convencionales, por lo cual deberán tener un costo bajo. Asimismo, el entrenamiento deberá ser fácil de manipular y modificar.
- Diseño de la herramienta sin cables: La herramienta deberá ser diseñada teniendo en cuenta la seguridad del operario, por ello, el diseño será sin cables.

Mediante la matriz de preferencias de la TABLA VII. se seleccionó la alternativa que se adecuaba a los requerimientos de las partes interesadas y a los criterios escogidos. Se optó por la Alternativa 1, la cual son las Google Cardboard, dado que fue la que obtuvo un mayor puntaje en los criterios evaluados. Este equipo diseñará el entrenamiento, los objetivos de aprendizaje, el método (instrucción, demostración o práctica), y los cuestionarios antes y después del mismo. El Software se desarrollará con los programas de Unity y Vuforia, para diseñar el ambiente virtual junto con un estudiante de Ingeniería de Sistemas de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

TABLA VII.  
MATRIZ DE PREFERENCIAS DE LAS ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN.

Criterios de selección	Peso ponderado del criterio	Alternativas de selección de proveedor/producto/servicio									
		Google Cardboard		HTC VIVE		Oculus Rift S		Microsoft HoloLens		Google Glasses	
		Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos
• Calidad de la imagen real y virtual	36%	6	217,45	8	289,93	9	326,17	10	362,41	7	253,69
• Aplicación (Software) que identifique los elementos de trabajo	23%	10	229,70	9	206,73	9	206,73	8	183,76	10	229,70
• Instrucciones de montaje adaptadas al entorno de trabajo	14%	9	122,48	9	122,48	10	136,09	10	136,09	10	136,09
• Video explicativo del uso de la herramienta y ensayo inicial	14%	10	136,09	10	136,09	8	108,87	8	108,87	8	108,87
• Diseño de fácil adquisición	8%	10	80,96	1	8,10	1	8,10	1	8,10	1	8,10
• Diseño de la herramienta sin cables	5%	10	54,75	8	43,80	6	32,85	6	32,85	6	32,85
TOTALES	100%		841,43		807,13		818,81		832,08		769,30

La alternativa seleccionada cumple con las especificaciones de los clientes, sin embargo, la restricción se encuentra en el desarrollo del Software, dado que los estudiantes no tienen conocimientos previos de programas de realidad virtual. Para ello, se utilizará la ayuda de estudiantes de pregrado de ingeniería de sistemas. Ahora bien, el uso de este hardware es económico en comparación con las otras tecnologías, por tanto, el costo del entrenamiento será menor que el de los entrenamientos convencionales.

Otra ventaja que tiene esta alternativa es que solo se necesita de un dispositivo móvil para adaptarlas Google Cardboard, por ello, es indispensable que el smartphone cuente con sensor de giroscopio, acelerómetro y el campo magnético, para así, poder utilizar la aplicación en su totalidad. Finalmente, se deben considerar las medidas de bioseguridad desde el desarrollo hasta la prueba del entrenamiento por parte de los operarios.

En caso de que la alternativa de las Cardboard no funcione, se tendrá en cuenta el uso de las Oculus Rifts S, las cuales la universidad javeriana Cali tiene como recurso, teniendo en cuenta que el entrenamiento se deberá adaptar al uso de una virtualidad aumentada como se describió anteriormente. Así mismo, este hardware corresponde a un artículo prestado por la universidad, en consecuencia, se deben tomar las medidas de bioseguridad para su manipulación.

#### D. Objetivos

Objetivo general:

*Diseñar un entrenamiento de la operación de montaje del motor transversal de un automóvil, con el fin de disminuir el tiempo de ciclo y mejorar el rendimiento del operario, desarrollando un ambiente de realidad aumentada usando las gafas Google Cardboard y los Software Unity 3D y Vuforia.*

Objetivos específicos:

1. Diseñar un método de entrenamiento, teniendo en cuenta las actividades que debe llevar a cabo el operario y la normativa dictada por la ARL y el Ministerio de Trabajo, por medio de la estandarización del método de trabajo.
2. Desarrollar el ambiente virtual mediante el Software Unity y Vuforia para aplicarlo al Hardware (Google Cardboard).
3. Realizar la prueba piloto del método del entrenamiento mediante el ambiente de realidad aumentada con las Google Cardboard.

4. Validar la mejora del rendimiento de los operarios, mediante el análisis de los resultados por medio de pruebas de hipótesis, de las mediciones del tiempo de ciclo, los cuestionarios de conocimientos y actitudes, así mismo de la usabilidad del entrenamiento virtual.

#### E. Plan de trabajo (PdT)

Teniendo en cuenta los objetivos específicos, se establecieron las actividades correspondientes, como se puede observar en la **TABLA VIII**, donde se definieron las herramientas de ingeniería industrial, el área del IISE y los entregables con su respectiva fecha de entrega.

Además, se presenta el cronograma de las actividades en el Project (Ver Anexo 9), que representa la duración y las fechas en las que se cumplirán las actividades definidas en la **TABLA VIII**.

**TABLA VIII.**  
**PLAN DE TRABAJO.**

Objetivo Específico	#	Área IISE	Herramienta de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Diseñar el método del entrenamiento, teniendo en cuenta las actividades que debe llevar a cabo el operario y la normativa dictada por la ARL y el Ministerio de Trabajo, por medio de la estandarización del método de trabajo.	1,1	1. Work Design and measurement.	I. Workstation Design.	Identificar las posiciones ergonómicas de las tareas a realizar.	Documento de Word que describa las posiciones ergonómicas de cada tarea.	Tercera semana de febrero 2021.
	1,2			Definir los puntos de control del proceso.	Diagrama de proceso con la secuencia de pasos del método estandarizado.	Tercera semana de febrero 2021.
	1,3			Definir los pasos del entrenamiento.		Tercera semana de febrero 2021.
	1,4			Realizar diagrama de procesos de método estandarizado.		Tercera semana de febrero 2021.
	1,5			Identificar las herramientas utilizadas en el montaje del motor al carro.		Lista de herramientas a utilizar por el operario en cada proceso.
Desarrollar el ambiente virtual mediante el Software Unity y Vuforia para aplicarlo al Hardware (Google Cardboard).	2,1	1. Work Design and measurement.	A. Engieering Desing.	Tomar medidas de los objetos con los que va a interactuar el operario.	Especificaciones del área de trabajo, medidas de los elementos del motor y las herramientas de trabajo.	Tercera semana de febrero 2021.
	2,2	13. Product Desing y Development.	A. Design Process.	Escanear el área de trabajo y herramientas para realizar la programación orientada a objetos.	Código del Software.	Tercera semana de febrero 2021.
	2,3			Realizar el algoritmo de programación con las instrucciones del método junto con un estudiante de Ingeniería de Sistemas.		Primera semana de abril 2021.
	2,4			Verificar el funcionamiento unificado del software con el hardware (Google Cardboard).	Lista de verificación del funcionamiento de la herramienta.	Segunda semana de abril 2021.
Realizar la prueba piloto del entrenamiento mediante el ambiente de realidad aumentada con las Google Cardboard.	3,1	9. Engineering Management.	B. Leadership, Teamwork, and organization.	Contactar al centro de desarrollo tecnológico industrial del SENA.	Correo electrónico con la confirmación de la cita.	Tercera semana de febrero 2021.
	3,2			Definir fecha del entrenamiento con coordinador del Sena Walter Rentería Palacios.		
	3,3	6. Ergonomics and Human Factors.	J. Human Information Processing, Skill and Performance.	Seleccionar los operarios que participarán en el entrenamiento.	Formato con información de los operarios.	Cuarta semana de febrero 2021.

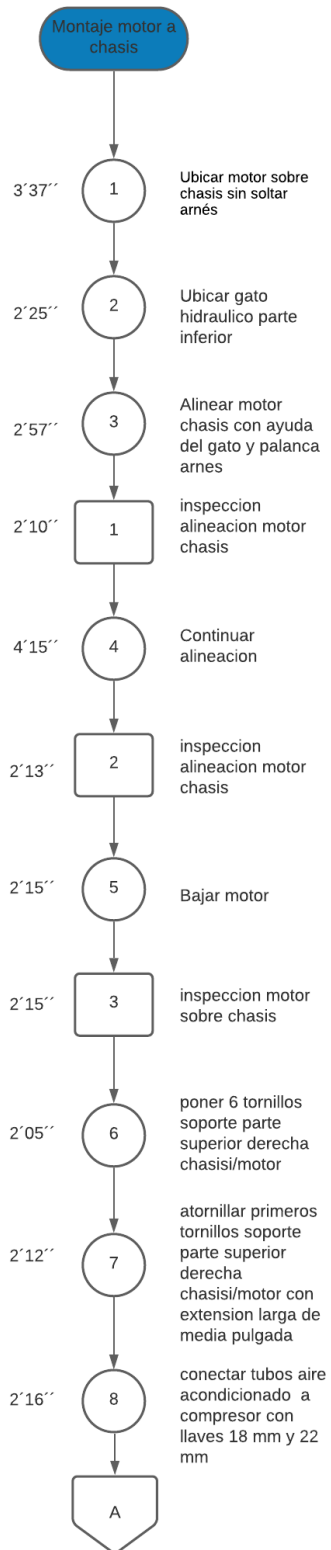
Objetivo Especifico	#	Área IISE	Herramienta de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
	3,4	13. Product Desing y Development.	A. Design Process.	Realizar un video explicativo de cómo funciona el dispositivo.	Video.	Tercera semana de abril 2021.
	3,5	1. Work Design and measurement.	B.Time and Motion Study.	Realizar la prueba piloto del entrenamiento virtual.	Hoja de Excel con los datos del tiempo de ciclo.	Cuarta semana de abril 2021.
	3,6			Medir el tiempo de ciclo durante el entrenamiento.		
Validar la mejora del rendimiento de los operarios, mediante el análisis de los resultados de las mediciones del tiempo de ciclo, los cuestionarios de conocimientos y actitudes, así mismo de la usabilidad del entrenamiento virtual.	4,1	1. Work Design and measurement.	L. Job Analysis.	Diseñar los cuestionarios de usabilidad, conocimientos y actitudes.	Cuestionarios de usabilidad, conocimientos y actitudes.	Tercera semana de marzo 2021.
	4,2			Aplicar el cuestionario de conocimientos y actitudes antes del entrenamiento.	Resultados de los cuestionarios.	Cuarta semana de abril 2021.
	4,3			Aplicar los cuestionarios de usabilidad, conocimientos y actitudes después del entrenamiento.		Cuarta semana de abril.
	4,4			Organizar los cuestionarios para obtener la información sobre la usabilidad del entrenamiento, y el conocimiento y actitudes de los participantes al entrenamiento.		Segunda semana de mayo.
	4,5	5. Quality & Reliability Engineering.	B.Fundamentals.	Analizar información arrojada por los cuestionarios de usabilidad con el fin de obtener el indicador del Nivel 1 de Kirckpatrick.	Análisis de resultados de los cuestionarios y del tiempo de ciclo.	Tercera semana de mayo.
	4,6			Analizar información arrojada por los cuestionarios de conocimiento y actitudes comparando antes y después del entrenamiento para verificar si el operario mejoró su rendimiento.		Tercera semana de mayo.
	4,7			Analizar la información por medio de herramientas estadísticas del tiempo de ciclo del entrenamiento virtual para evaluar si se disminuyó respecto al del entrenamiento convencional.		Cuarta semana de mayo.

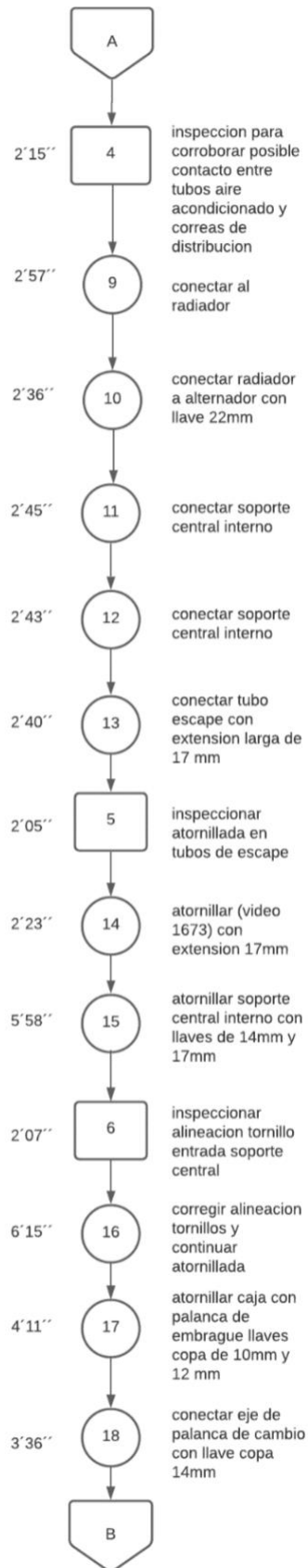
## V. DISEÑAR

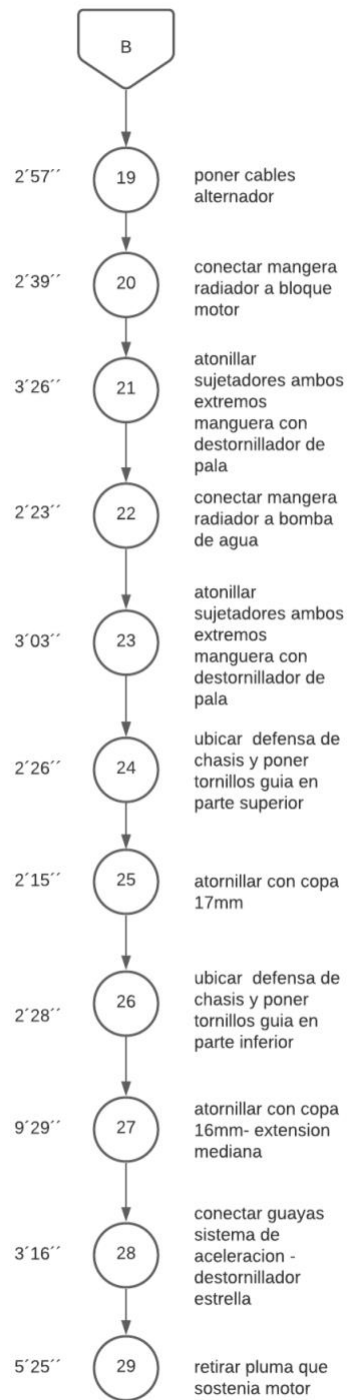
### A. Desarrollo del diseño de la solución

Para diseñar el entrenamiento, se tuvo en cuenta el diagrama de proceso de la

<b>DIAGRAMA SINÓPTICO</b>	
<b>Proceso:</b> Montaje del motor a un carro.	<b>Método:</b> Actual.
<b>Página:</b> 1 de 1	<b>Diagramó:</b> Total Trainers
	<b>Fecha:</b> 25/10/2020







Actividad	Cantidad	Tiempo Minutos
○	29	97'53''
□	6	13'05''
Total	35	110'58''

Fig. 4. puesto que, esta es la secuencia utilizada para el ensamble del motor correspondiente a la que debe ser aprendida por el operario. De este modo, el entrenamiento en la aplicación fue diseñado, de tal forma que el operario a través de las gafas de

realidad virtual pueda ver los pasos por medio de imágenes, videos e instrucciones donde se especifica la herramienta que debe utilizar y los elementos que debe manipular.

Los videos e imágenes fueron tomados en el Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial del Sena utilizando un auto con motor de combustión interna. Cabe resaltar que el video muestra de forma cíclica la acción que debe de realizar el operario, lo que le permite identificar que elemento del vehículo debe tomar o ensamblar, los cuales son datos de entrada para el Software del Unity. Finalmente se identificaron 11 pasos principales con subdivisiones, lo cual correspondería en el programa a 45 planos (Ver Anexo 10).

Se utilizó el Software en el programa de motor de videojuego multiplataforma Unity y Vuforia. Para la aplicación, el equipo de trabajo tomó un curso en la plataforma de aprendizaje en línea Udemy. Se resalta que el lenguaje de programación C# que se necesita para ejecutar las acciones en el Unity, tiene similitudes con Visual Basic, el cual fue visto en el plan de estudios, por tanto, no fue necesaria la ayuda de un estudiante de ingeniería de sistemas para realizar la aplicación.

El código fue escrito en Visual Studio, el cual conecta directamente con el Unity (Ver Anexo 11). Su función es dar el comando para ejecutar la acción correspondiente una vez el usuario ha seleccionado el botón virtual, de esta forma la imagen virtual es proyectada cuando se ha identificado el código QR y el operario solo tiene que pasar su mano a través de él para seleccionarlo.

Se decidió por un Menú principal que contara con un botón virtual el cual debe ser seleccionado para iniciar las indicaciones de los pasos del entrenamiento. Se tuvo en cuenta en solo realizar un botón en el inicio con el fin de evitar errores o confusiones por parte de los operarios al momento de seleccionar como se observa en la Fig. 15.



Fig. 155. Menú principal aplicación en Unity.

Cuando se da inicio al entrenamiento (Ver Fig. 16.) en la parte superior de la imagen virtual se puede identificar en que paso se encuentra, seguido de un enunciado donde se da la instrucción. Abajo del texto aparece la imagen o video correspondiente al elemento que se debe identificar o acción a realizar. Las flechas que se observan sobre el código QR son las que permiten seleccionarse de forma virtual para avanzar o retroceder en los pasos.



Fig. 166. Menú de entrenamiento de la aplicación.

Una vez planteados los planos en el Unity de los pasos y el código para ejecutar las acciones con los botones, se comprobó la funcionalidad del Software a través de la lista de chequeo de la TABLA IX.

TABLA IXX.  
LISTA DE CHEQUEO CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN.

N°	Acción	Si	No	Observación
----	--------	----	----	-------------

1	El programa se ejecuta una vez el código QR es leído.	✓		
2	Cuando el programa deja de leer el código QR no se muestra el entrenamiento.	✓		
3	Cuando el programa vuelve a detectar el código QR el entrenamiento inicia desde el paso en se dejó.	✓		
4	El botón virtual iniciar dirige al paso 1, una vez que se ha seleccionado	✓		
5	El botón adelante permite pasar al siguiente paso una vez es seleccionado.	✓		
6	El botón atrás permite pasar al paso anterior una vez es seleccionado	✓		
7	Los videos donde muestra el paso de ensamble son reproducidos de forma cíclica.	✓		
8	Las herramientas se pueden observar correctamente.	✓		
9	Cuando se reinicia el programa, este empieza el entrenamiento de nuevo.	✓		
10	Los pasos del ensamble corresponden al diagrama de procesos	✓		

Después de que el Software funcionó correctamente, se procedió a exportar el entrenamiento al celular en formato de apk y configurado para visión de gafas de realidad virtual (Ver Fig. 17.) de forma que se puedan probar junto con las *Google Cardboard*.



Fig. 177. Visión de la apk en el celular del entrenamiento virtual.

Cuando se probaron las gafas de *Google Cardboard* con la aplicación del celular, se pudo identificar a través de una lista de chequeo que la calidad de imagen real y virtual no era la adecuada, a razón que en la aplicación se presenta textos y videos que requieren una mayor calidad de lente, por tanto, para evitar mareos o tropiezos durante el entrenamiento, es fundamental realizar un cambio de las gafas para garantizar la seguridad del trabajador en el momento del ensamble.

Por otro lado, la apk desarrollada funciona para cualquier tipo de gafas de realidad aumentada. De esta forma, el equipo de trabajo buscó una alternativa para obtener unas gafas de realidad virtual de mejor calidad con la Universidad Javeriana Cali que cumplieran con las especificaciones propuestas en el método de selección (Ver Anexo 12). Por tanto, se utilizó el método de análisis jerárquico AHP para validar si se justificaba el cambio de equipo. A continuación, en la TABLA X. se presentan los resultados de la matriz AHP entre las *Google Cardboard* y las *SPIELTEK Vr-m2*.

TABLA X.  
COMPARACIÓN DE GOOGLE CARBOARD Y SPIELTEK Vr-M2

Criterios de selección	Alternativas de selección de proveedor/producto/servicio
------------------------	--

	Peso ponderado del criterio	Google Cardboard		SPIELTEK Vr-m2	
		Calificación	Puntos	Calificación	Puntos
• Calidad de la imagen real y virtual	36%	6	217,45	8	289,93
• Aplicación (Software) que identifique los elementos de trabajo	23%	10	229,70	10	229,70
• Instrucciones de montaje adaptadas al entorno de trabajo	14%	9	122,48	9	122,48
• Video explicativo del uso de la herramienta y ensayo inicial	14%	10	136,09	10	136,09
• Diseño de fácil adquisición	8%	10	80,96	10	80,96
• Diseño de la herramienta sin cables	5%	10	54,75	10	54,75
TOTALES	100%		841,4265627		913,91

Finalmente, las gafas de realidad virtual que se va a utilizar para realizar la prueba piloto del entrenamiento son las gafas SPIELTEK Vr-m2, que cumplen con los criterios de selección. Estas gafas cuentan con una mejor calidad de lente y en el mercado se pueden encontrar con un precio de 41,99 USD [52], el cual es aproximadamente igual al de las Google Cardboard [38]. De este modo, se evidencia que el cambio de equipo es favorable para llevar a cabo el proceso de validación con los aprendices del Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial del SENA.

### B. Validación del diseño propuesto

Para realizar la validación del diseño propuesto, se aplicaron los cuestionarios basados en el modelo de Kirkpatrick para evaluar la usabilidad de la herramienta, conocimientos y actitudes por parte de quienes incursionan en el estudio. Cabe resaltar que por fines prácticos se eligió la herramienta Google Forms para realizar los cuestionarios por lo amigable que es con el usuario final (operadores) y por la facilidad de la obtención de datos. Anteriormente, se tenía propuesto realizar el entrenamiento con estudiantes o colaboradores del SENA en la misma institución, sin embargo, no se pudo llevar a cabo por situaciones de protesta social en Colombia desde abril 28 del presente año.

Teniendo en cuenta lo anterior, la prueba piloto se realizó con los familiares o personas cercanas de los integrantes del grupo del proyecto. Las personas elegidas para realizar el entrenamiento únicamente visualizaron los pasos a seguir y estuvieron viendo la parte del carro donde se hace el montaje del motor, mas no realizaron el proceso. En primer lugar, se les entregó un consentimiento que leyeron y aprobaron (Ver anexo 13), dicho documento permitió el uso y tratamiento de datos recopilados a lo largo del estudio. Asimismo, se entregó un protocolo (Ver anexo 14) donde se describió el paso a paso de lo que se realizó para poder tomar las mediciones. Posteriormente, se procedió a aplicar los cuestionarios a los participantes (Ver Anexo 15). El cuestionario de conocimientos se realizó antes y después del entrenamiento para evaluar si la persona conoce el proceso del montaje del motor o si hubo una mejora en los conocimientos al haber realizado el entrenamiento. Por otro lado, los cuestionarios de usabilidad y actitudes se aplicaron después de haber realizado el entrenamiento para conocer la percepción de la persona en cuanto a la metodología implementada, sus actitudes frente al entrenamiento, la calidad del trabajo y posibles riesgos presentados.

Se hizo una simulación de los datos en Excel (Ver anexo 16) para tener una muestra de datos representativa, asimismo, para determinar el cumplimiento de los KPI definidos en la etapa de Medir (Ver TABLA IV.). Se realizaron pruebas de hipótesis en Minitab para validar si los KSAs mejoraron y, verificar si hubo una reducción en el tiempo de ciclo del montaje del motor. Los datos simulados en Excel se hicieron a partir de una distribución normal debido a que está concentrada en dos desviaciones el 68,20% de los datos, con este porcentaje se disminuyó la posibilidad de que existiera un sesgo en los resultados. Se tomó Z como estadístico en las pruebas ya que esta se usa para la distribución normal, cabe resaltar que se usó Z y no T como estadístico, dado que T se usa para muestras menores a 30, en este caso el tamaño muestral de la simulación fue de 50. Se definió un nivel de confianza del 95% por consenso de los integrantes del proyecto. Este nivel de confianza es un intervalo en torno a la estimación obtenida en donde se tiene la confianza de encontrar el valor del parámetro estimado, es decir, es el grado de certeza expresado en porcentaje con el que se quiere realizar la estimación de un parámetro a través de un estadístico muestral [53]. Como se simularon los datos con base a muestras reales, la conclusión será en esencia un poco distinta a la realidad [54].

Luego de realizar el entrenamiento a los participantes y aplicar los cuestionarios, se procedió a analizar la efectividad del entrenamiento por medio de Minitab, en dicho programa se realizaron las pruebas con sus respectivas gráficas que se evidencian en el anexo 17. A continuación en la TABLA XI se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

TABLA XII.  
PRUEBAS DE HIPOTESIS DE LOS CUESTIONARIOS.

Indicador	Prueba de Hipótesis*	Media (SD) antes de la intervención n = 50	Media (SD) después de la intervención n = 50	Valor P
Puntaje de Usabilidad sobre la herramienta de entrenamiento (escala de Likert antes del entrenamiento)	<b>Ho:</b> $\mu \leq 75$ <b>Ha:</b> $\mu > 75$	N.A.	77,44 (9,47)	0,025**
Puntaje del cuestionario de conocimiento (puntaje obtenido antes vs después del entrenamiento).	<b>Ha:</b> $\mu_a = \mu_d$ <b>Ha:</b> $\mu_a \neq \mu_d$	1,61 (0,71)	4,70 (0,77)	0,00**
Puntaje del cuestionario de conocimiento (puntaje obtenido después del entrenamiento).	<b>Ha:</b> $\mu = 3$ <b>Ha:</b> $\mu > 3$	N.A.	4,70 (0,77)	0,00**
Puntaje del cuestionario de actitud ORMAQ (escala de Likert después del entrenamiento).	<b>Ho:</b> $\mu \leq 75$ <b>Ha:</b> $\mu > 75$	N.A.	77,65	0,00**
Tiempo de ciclo (minutos).	<b>Ho:</b> Se obtuvo un tiempo de ciclo mayor a 110,58 minutos <b>Ha:</b> Se obtuvo un tiempo de ciclo menor a 110,58 minutos	110,58	80,26	0,00**

Nota: \*Regla de decisión = Rechazo Ho si p-valor  $< \alpha$  (Nivel de confianza del 95%); \*\*Significativo al 0,05; NA = No Aplica

En la *TABLA XI* se puede evidenciar que todas las hipótesis fueron rechazadas al 95% de confianza. Para el caso de usabilidad se cumplió con el indicador de desempeño esperado para la usabilidad de la herramienta, dado que se esperaba obtener un puntaje de 75 sobre 100 o más y en este caso fue mayor, esto quiere decir que el operario encuentra la herramienta favorable y relevante, de forma que cumple con el objetivo de facilitar la realización del entrenamiento. Ahora bien, en los cuestionarios de conocimientos, muestran que el desempeño mejora una vez se ha realizado el entrenamiento, en la evaluación realizada después, se obtienen calificaciones mayores a 3 puntos, lo cual era lo esperado, por tanto, el realizar el entrenamiento con la herramienta permite al operario adquirir conocimientos sobre el procedimiento del montaje.

En el cuestionario de actitudes, se alcanzó un puntaje mayor de los 75 puntos sobre 100 esperados, esto quiere decir que las actitudes del operario son positivas en cuanto a la realización del entrenamiento, la calidad del trabajo es buena y se tiene un buen desempeño. Finalmente, en el tiempo de ciclo, dio como resultado que la herramienta ayuda a reducirlo comparado con los 110,58 minutos que se estaba demorando antes, por ello se puede decir que el uso de las gafas de realidad virtual marca una ventaja competitiva en el diseño del entrenamiento virtual frente a los entrenamientos convencionales.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente y el análisis realizado, se puede concluir que se cumplió con los indicadores de desempeño que se tenían propuestos. Para los cuatro indicadores se obtuvieron resultados positivos que permiten validar la efectividad del entrenamiento en el montaje del motor del carro. Por lo tanto, se puede afirmar que el entrenamiento mejoró las actitudes, conocimientos y habilidades de las personas que incursionaron en el estudio y, se logró disminuir el tiempo de ciclo del montaje del motor.

## VI. VERIFICAR

### A. Medición de los impactos

Con base en los resultados obtenidos por medio de la prueba piloto, fundamentada en las pruebas de hipótesis planteadas que proyectan un análisis en cuanto a la usabilidad de la herramienta, los conocimientos adquiridos al realizar el entrenamiento y las actitudes frente a este, fue posible comprobar la factibilidad del diseño propuesto. Es posible afirmarlo mediante los resultados obtenidos en los cuestionarios diligenciados por parte de quienes incursionaron en el estudio y los datos simulados. Por un lado, para la prueba de Usabilidad se logró la meta propuesta, en este caso se debía obtener un puntaje de 75 sobre 100 y en promedio se obtuvo un puntaje de 77,44. Es decir que el método de entrenamiento propuesto para el montaje del motor fue efectivo, es sencillo de usar, es útil para el trabajo y se aprende rápidamente por medio del entrenamiento virtual.

Por otro lado, se evaluaron los conocimientos previos al entrenamiento y adquiridos al haberlo realizado, permitiendo determinar la efectividad en términos cognitivos del entrenamiento. Con base en la prueba de hipótesis planteada para evaluar la mejora de los conocimientos, que contrastó las medias obtenidas en cada uno (Antes vs Después), se obtuvo un resultado de 1,61 puntos de 5 posibles en el cuestionario de conocimiento aplicado antes del entrenamiento, esto, debido en gran parte al personal elegido (Sujetos sin experiencia en montajes de motor, poco acercamiento al uso de tecnología en su adiestramiento) para ejecutar el entrenamiento y falta de conocimientos para el montaje del motor. Al haber aplicado el cuestionario posterior al entrenamiento, se logró observar un incremento en su media a 4,7 puntos de 5 posibles y un delta de 3,09. Esto se debe en parte a la metodología empleada en el entrenamiento que permitió afirmar su factibilidad.

Otro de los indicadores que se estableció para darle un seguimiento a la efectividad del diseño propuesto fue el Tiempo de Ciclo. Inicialmente, se tenía una duración de 110,58 minutos, la meta propuesta era obtener un valor menor a este tiempo. Al analizar las pruebas de hipótesis, fue posible concluir que el tiempo de ciclo disminuyó considerablemente a 80,26 minutos, es decir una diferencia de 30,32 minutos.

Finalmente, se evaluó el indicador de desempeño de las Actitudes del operario, al igual que con los otros indicadores de desempeño, se logró la meta propuesta. En promedio se obtuvo un puntaje de 77,65 puntos, mayor al umbral establecido anteriormente para este indicador. Por lo cual, se puede afirmar que la reacción de los participantes frente al entrenamiento fue buena, debido a que los conocimientos aprendidos les fueron útiles para su trabajo, están satisfechos con su desempeño y no perciben riesgos en el desarrollo del entrenamiento.

#### *B. Estandarización de la solución – POE'S (plan de control)*

En el diseño del entrenamiento de la operación del montaje del motor transversal de un automóvil, se estandariza la solución por medio de una serie de pasos presentados en el manual de uso que se presenta en la *Fig. 17*. que permite establecer las acciones para realizar el entrenamiento de forma que se lleve a cabo la prueba piloto, además, este se complementa con el protocolo presentado anteriormente (Ver Anexo 14). En este manual se presentan las instrucciones del procedimiento, desde el diseño del método hasta la evaluación de la efectividad del entrenamiento, lo cual es importante para medir la mejora en el rendimiento del operario, a su vez del tiempo de ciclo durante el ensamble.

La herramienta de realidad virtual puede adaptarse a cualquier ensamble de motor de carro, sin importar el modelo o marca de automóvil, según sean las necesidades del entrenamiento. Para ello se debe tener en cuenta los pasos y herramientas para realizar el montaje del motor en el carro de forma que queden plasmadas en la aplicación.

Se resalta que el diseño fue aplicado en una prueba piloto, con personas que desconocían el procedimiento, lo cual es a lo que se pueden enfrentar los operarios al recibir por primera vez un entrenamiento. Por otro lado, los cuestionarios de usabilidad y actitudes pueden funcionar independientemente del entrenamiento y el cuestionario de conocimientos puede ser cambiado según sea el enfoque del aprendizaje o tema específico del procedimiento a evaluar.

<b>Diseño de Entrenamientos Virtuales para el Montaje de un Motor en la Industria Automotriz.</b>	
<b>MANUAL DE USO</b>	
Objetivo: Diseñar un entrenamiento de la operación de montaje del motor transversal de un automóvil, con el fin de disminuir el tiempo de ciclo y mejorar el rendimiento del operario sin afectar la carga cognitiva, desarrollando un ambiente de realidad aumentada usando las gafas Google Cardboard y los Software Unity 3D y Vuforia.	
Indicadores: Usabilidad, Conocimientos, Actitudes, Tiempo de ciclo.	
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Identificar los pasos necesarios para completar la tarea	Se debe definir los pasos y las herramientas necesarias para realizar el montaje del motor al carro
Ordenar los pasos de manera optima	Verificar que el orden de los pasos se desarrollen de manera correcta y ordenada y las herramientas utilizadas sean las adecuadas para cada paso.
Desarrollar el código del entrenamiento en los software	Crear el código en los software mencionados, basándose en los pasos identificados y las herramientas necesarias.
Crear una aplicación virtual	Una vez creado el código, ponerlo en formato aplicación virtual para uso en dispositivos móviles.
Probar diseño y funcionamiento del entrenamiento y aplicación virtual	Instalar la aplicación virtual en algún dispositivo móvil, y verificar el funcionamiento de esta y todos sus elementos.
Crear formularios	Definir preguntas necesarias para evaluar cada uno de los indicadores por medio de formularios.
Aplicar formularios antes	Entregar formularios a los usuarios e indicarles como diligenciar estos antes del entrenamiento.
Organizar lugar de trabajo	Verificar la disponibilidad del espacio, dispositivo móvil con aplicación virtual instalada, herramientas y partes requeridas para desarrollar el entrenamiento.
Realizar entrenamiento	Indicar al usuario como funciona la aplicación virtual y las gafas de AR para que ejecute el entrenamiento.
Aplicar formularios después	Entregar formularios a los usuarios e indicarles como diligenciar estos después del entrenamiento.
Evaluar resultados de los formularios	Evaluar los resultados para establecer la funcionalidad y eficacia del entrenamiento.
Elaboró: Firma: Cargo:	

Fig. 188. Estandarización del entrenamiento.

## *Conclusiones*

El montaje del motor a un carro es una operación que requiere una serie de pasos con orden específicos y la utilización de diferentes herramientas, por lo tanto, es importante hacer uso de un método para el montaje que sea fácil de usar para el operario, especialmente cuando está aprendiendo. De esta forma, la utilización de herramientas virtuales para desarrollar entrenamientos permite mejorar el rendimiento de los operarios en los niveles 1,2 y 4 del modelo de Kirkpatrick, lo cual la convierte en una alternativa atractiva para las empresas que busquen capacitar a sus empleados.

Cabe resaltar que el uso de este tipo de entrenamiento permite al operario aprender y/o capacitarse en un ambiente controlado, lo cual aporta a la seguridad del trabajador y le brinda la confianza para desarrollar sus actividades a su ritmo, puesto que una vez termina una tarea, el mismo puede decidir cuándo pasar a la siguiente. Asimismo, se debe tener en cuenta que la aplicación de estas herramientas tecnológicas puede resultar un poco compleja de manejar para todas las personas. Por ello, en el diseño presentado se realizó un protocolo en el que se describe el paso a paso sobre cómo ejecutar el entrenamiento.

Realizar un entrenamiento con realidad aumentada para el montaje de un motor de un carro hace que el entrenamiento sea efectivo, disminuyendo el tiempo de ciclo en un 27,50%, lo cual influye en la optimización de los tiempos de trabajo y le da un acceso inmediato al operario en lo que requiera. Asimismo, esta herramienta tiene un gran aporte en aspectos como el contar con documentación ágil y completa durante el proceso de instalación, la información es más puntual y se ajusta al contexto del proceso que se esté desarrollando en el montaje. Por otro lado, este tipo de herramienta facilita el aprendizaje de los operarios y mejora el rendimiento del operario a través del desarrollo y refuerzo de los conocimientos y habilidades en el proceso del montaje. En cambio, bajo métodos tradicionales, el operario debía detener su proceso de instalación, ir en búsqueda de apoyo, manuales o métodos tradicionales para resolver dudas sobre la instalación en curso.

La tecnología 4.0 asociada directamente al proyecto es la realidad virtual, pero se deja un espacio para la incorporación de otras tecnologías, como lo es el aprovechamiento de los datos, su análisis y la posibilidad de tener en tiempo real resultados en el proceso de capacitación, de adiestramiento en la instalación, así como se puede plantear la exploración de inteligencia artificial para guiar al operario durante el proceso, siendo este proyecto una primera aplicación que abre estas posibilidades.

Asimismo, fue importante la comunicación con el centro de desarrollo tecnológico industrial del SENA para identificar con los aprendices y técnicos, los procedimientos y aspectos importantes en el montaje del motor. Con esto, el equipo de trabajo logró tener una mejor perspectiva en la realización de la propuesta del diseño, comprendiendo las operaciones a llevar a cabo, las herramientas utilizadas y la percepción de quienes conocen el proceso del montaje del motor.

Finalmente, fue relevante la conexión interdisciplinar entre las diversas áreas involucradas para el desarrollo del proyecto. El equipo de proyecto logró adquirir nuevos conocimientos, conocer otras visiones y aprender aspectos técnicos, como lo es el diseño de ambientes virtuales, la programación del entrenamiento, detalles del proceso del montaje del motor y formas de evaluar la efectividad del entrenamiento.

Pese a las condiciones de orden público y de salubridad actuales, el grupo de trabajo buscó formas alternativas de llevar a cabo la implementación del proyecto, adaptarse a las condiciones actuales, dar soluciones para el diseño del entrenamiento y acceder a métodos para ejecutar el mismo. Pese a estas dificultades se obtuvieron buenos resultados. Estas características de adaptación al medio es lo que debe caracterizar a un ingeniero.

## *D. Recomendaciones*

Para futuras mejoras del diseño del entrenamiento virtual, se recomienda programar y diseñar el entrenamiento para más de un operario, de esta manera, el entrenamiento se podría acoplar a distintos trabajos que se requieran y conllevar a una mayor cantidad de beneficios, por ejemplo, en el montaje del motor del carro se podría reducir aún más el tiempo de ciclo al contar con un ayudante. Asimismo, se recomienda para posibles mejoras del entrenamiento usar un Software y Hardware más avanzado y personal capacitado que pueda realizar la programación, de esta manera lograr una interfaz en el aplicativo que sea más amigable con el usuario y le resulte amigable el proceso del entrenamiento.

Finalmente, como oportunidad de mejora se pueden incorporar mecanismos que permitan evaluar en tiempo real la efectividad del entrenamiento y la interacción del operario con la plataforma virtual, así como establecer procesos de actualización de contenidos y características que se ajusten a nuevas necesidades que surjan en los entrenamientos.

## VI. GLOSARIO

**Autopartes:** Piezas que intervienen en el armado de un automóvil, las cuales son visibles tanto para el usuario como para las personas [54].

**CardBoard:** Gafas de realidad virtual hechas con cartón y lentes de distancia focal, que se utilizan junta a un teléfono móvil tipo smartphone [55].

**Ciber enfermedad:** Es un término que describe trastornos del movimiento, experimentados por las personas que utilizan sistemas de realidad virtual [17].

**Google Glasses:** Gafas de realidad virtual, mediante un mini proyector se proyecta una imagen virtual [48].

**Hardware:** Componentes materiales y físicos de un dispositivo [56].

**Head-mounted display:** Es un dispositivo de visualización, usado en la cabeza o como parte de un casco, que tiene una pequeña pantalla óptica frente a uno o cada ojo [57].

**Industria 4.0:** Fase en la revolución industrial que se enfoca en gran medida en la interconectividad, la automatización, el aprendizaje automatizado y los datos en tiempo real [58].

**Matriz DOFA:** Es una estrategia de análisis que puede aplicarse a cualquier situación, tanto de carácter individual como empresarial o de producto, para realizar un diagnóstico preciso [59].

**Realidad Aumentada:** Los objetos virtuales se superponen a los ambientes reales, el cual se caracteriza por tener un nivel alto de sensación de presencia en el entorno y un nivel alto de integración, donde el operario tenga la capacidad de navegar e interactuar con los objetos [7].

**Realidad Mixta:** se presenta cuando el mundo virtual y el mundo real, interactúan en un mismo entorno [7].

**Sistemas Cíber Físicos:** Dispositivos que integran capacidades de computación, almacenamiento y comunicación para controlar e interactuar con un proceso físico [60].

**Sistemas de Asistencia:** Sistemas de control de acceso que le permite a las empresas llevar un registro de las entradas y salidas de sus empleados para tomar acciones inmediatas en el retraso o falta de un colaborador [61].

**Smartphone:** Teléfono celular con pantalla táctil, que permite al usuario conectarse a internet y realizar distintas actividades por medio de aplicaciones [62].

**Software:** Programas de cómputo, datos, procedimientos y pautas que permiten realizar distintas tareas en un sistema informático [63].

**Tiempo de Ciclo:** Describe cuanto tiempo toma para completar una tarea específica desde el comienzo hasta el final [63].

**Apk:** Android Application Package, es un archivo ejecutable de aplicaciones para Android, en la mayoría de los casos son aplicaciones o juegos que permiten instalarse en dispositivos móviles como smartphones y tablets sin necesidad de utilizar Play Store [64].

## VII. REFERENCIAS

- [1] E. Salas and J. Cannon Bowers, "Methods, tools, and strategies for team training.," in *Training for a rapidly changing workplace: Applications of psychological research*, 1997, pp. 249-279.
- [2] M. Eder, M. Hulla, F. Mast and R. Christian, "On the application of Augmented Reality in a learning factory working environment," in *Procedia Manufacturing*, 2020, pp. 7-12.
- [3] R. S. Kalawsky, in *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*, 1998, pp. 4-8.
- [4] iProUp, "Ford implementará tecnología de realidad virtual 3D para el diseño de sus autos," 7 Febrero 2019. [Online]. Disponible: <https://www.iproup.com/innovacion/2569-seguridad-diseno-Ford-se-renueva-usara-tecnologia-de-realidad-virtual-3D-para-disenar-sus-autos>. [Consultado 11 Octubre 2020].
- [5] Volvo, "Volvo," [Online]. Disponible: <https://www.volvocars.com/es/discover-volvo/simulador-de-conduccion>. [Consultado 11 Octubre 2020].
- [6] A. May and C. Carter, "A case study of virtual team working in the European automotive industry," in *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2001, pp. 171-186.
- [7] P. Milgram and F. Kishino, in *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*, 2013.
- [8] Semana, "Semana," 5 Diciembre 2019. [Online]. Disponible: <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/sobre-ruedas/articulo/industria-automotriz-en-colombia-en-2018/615749/>. [Consultado 13 Septiembre 2020].
- [9] Portafolio, "\$52,3 billones genera el sector automotor en Colombia," 22 Octubre 2014. [Online]. Disponible: <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/52-billones-genera-sector-automotor-colombia-66870>. [Consultado 14 Septiembre 2020].
- [10] DANE , "Índice de producción industrial (IPI)," Julio 2020. [Online]. Disponible: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/indice-de-produccion-industrial-ipi>. [Consultado 14 Septiembre 2020].
- [11] M. Reina, S. Oviedo and j. Moreno, "FEDESARROLLO," Julio 2014. [Online]. Disponible: <http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2016/07/Fedesarrollo-Informe-Sector-en-Colombia.pdf>. [Consultado 14 Septiembre 2020].
- [12] DANE información para todos, "Encuesta mensual manufacturera (EMM)," Diciembre 2018. [Online]. Disponible: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-mensual-manufacturera-emm>. [Consultado 14 Septiembre 2020].
- [13] Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Colombia Productiva, ProColombia, ONUDI y KOICA, "Catálogo de capacidades industria automotriz Colombiana," Cali, 2019.
- [14] ANDI mas país, "Camaras sectoriales - Automotriz," [Online]. Disponible: <http://www.andi.com.co/Home/Camara/4-automotriz>. [Consultado 14 Septiembre 2020].
- [15] A. Caballero, "INNOAREA projects," 30 Mayo 2017. [Online]. Disponible: <https://www.innoarea.com/industria-4-0-a-traves-de-realidad-virtual-y-realidad-aumentada/>. [Consultado 18 Septiembre 2020].

- [16 N. Mchenry, T. Hunt, W. Young, A. Gardner, U. Bhagavatula, B. Bontz, J. Chiu, G. Chamitoff and A. Diaz Artilles,  
] "Evaluation of Pre-Flight and On Orbit Training Methods Utilizing Virtual Reality," Texas, 2020.
- [17 Nine to Noon, "RNZ," 31 Agosto 2020. [Online]. Disponible:  
] <https://www.rnz.co.nz/national/programmes/ninetonoon/audio/2018761867/cybersickness-what-is-it-and-who-is-affected>.  
[Consultado 12 Octubre 2020].
- [18 W. Arthur Jr, W. Bennett Jr, P. S. Edens and S. T. Bell, "Effectiveness of Training in Organizations:," *Journal of Applied  
] Psychology*, vol. 88, no. 2, p. 234–245, 2003.
- [19 M. J. Burke, S. A. Sarpy, K. Smith-Crowe, . S. Chan-Serafin, . R. Salvador and G. Islam, "Relative Effectiveness of  
] Worker Safety and," *American Journal of Public Health*, vol. 96, no. 2, pp. 315-324, 2006.
- [20 V. García, "La Realidad Aumentada como aliada en la Industria 4.0," 11 Noviembre 2019. [Online]. Disponible:  
] <https://revistabyte.es/actualidad-it/realidad-aumentada/>. [Consultado 18 Septiembre 2020].
- [21 América Economía, "Realidad virtual: la importancia de capacitar en un mercado laboral disruptivo," 21 Julio 2018.  
] [Online]. Disponible: <https://mba.americaeconomia.com/articulos/reportajes/realidad-virtual-la-importancia-de-capacitar-en-un-mercado-laboral-disruptivo>. [Consultado 15 Septiembre 2020].
- [22 Naciones Unidas CEPAL, "Las oportunidades de la digitalización en América Latina frente al COVID-19," Abril 2020.  
] [Online]. Disponible: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45360-oportunidades-la-digitalizacion-america-latina-frente-al-covid-19>. [Consultado 15 Septiembre 2020].
- [23 D. Bläsing, S. Hinrichsen and M. Bornewasser, "Reduction of Cognitive Load in Complex Assembly Systems," in *Human  
] Interaction, Emerging Technologies and Future Applications II*, Lausanne, Springer, 2020, pp. 495-500.
- [24 Kirkpatrick Partners , "Kirkpatrick Partners," 2019. [Online]. Disponible: <https://www.kirkpatrickpartners.com/Our-Philosophy/The-Kirkpatrick-Model>. [Consultado 25 Octubre 2020].
- [25 S. Ritzmann , V. Hagemann and A. Kluge, "Training in Organisations - Training Outcomes: Theoretical and Empirical  
] Background," in *The Training Evaluation Inventory (TEI) - Evaluation*, Springer, 2013, pp. 1-7.
- [26 R. Helmreich, B. Sexton and A. Merritt, "Alma Mater Studiorum Università di Bologna," [Online]. Disponible:  
] <https://site.unibo.it/hfrs/en/questionnaire-and-scales-2/ormaq>. [Consultado 25 Octubre 2020].
- [27 L. Alonzo, "M4rketiing 4Ecommerce," 12 Septiembre 2019. [Online]. Disponible: <https://marketing4ecommerce.net/las-4-p-del-marketing-mix-historia-variantes-evolucion/>. [Consultado 15 Noviembre 2020].
- [28 Universidad Nacional de Colombia Facultas de Ingeniería sede Bogotá, "Universidad Nacional de Colombia," 27 Junio  
] 2019. [Online]. Disponible: <https://ingenieria.bogota.unal.edu.co/uec/?p=11308>. [Consultado 14 Noviembre 2020].
- [29 Fortune Business Insights, "Fortune Business Insights," Agosto 2020. [Online]. Disponible:  
] <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/virtual-reality-vr-in-automotive-market-101702>. [Consultado 19 Noviembre 2020].

- [30] L. Gong, H. Söderlund, L. Bogojevic, X. Chen, A. Berce, A. Fast-Berglund and B. Johansson, "ScienceDirect," 2020. [Online]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120305965>. [Consultado 14 Noviembre 2020].
- [31] S. Werrlich, C. Lorber, P.-A. Nguyen, C. E. Franco Yanez and G. Notni, "Springer Link," 2 Junio 2018. [Online]. Disponible: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-91581-4\\_35](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-91581-4_35). [Consultado 14 Noviembre 2020].
- [32] E. Lampen, J. Teuber, F. Gaisbauer, T. Bär, T. Pfeiffer and S. Waschmuth, "ScienceDirect," 2019. [Online]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119304652>. [Consultado 13 Noviembre 2020].
- [33] R. Behringer, J. Christian, H. Krieger, D. Moore and A. Holzonger, "Leeds Beckett Repository," 13 Abril 2011. [Online]. Disponible: <http://eprints.leedsbeckett.ac.uk/id/eprint/720/>. [Consultado 13 Noviembre 2020].
- [34] M. Neges, S. Adwernat and M. Abramovici, "ScienceDirect," 2018. [Online]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918300246>. [Consultado 13 Noviembre 2020].
- [35] A. Muñoz, X. Mahiques, E. Solanes, A. Martí, L. Garcia and J. Tornero, "ScienceDirect," 2019. [Online]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S027861251930072X>. [Consultado 14 Noviembre 2020].
- [36] N. Ordaz, D. Romero, D. Gorecky and H. R. Siller, "ScienceDirect," 2015. [Online]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915037084>. [Consultado 13 Noviembre 2020].
- [37] C. Qiu, S. Zhou, Z. Liu, Q. Gao and J. Tan, "ScienceDirect," 2019. [Online]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096579619300841>. [Consultado 14 Noviembre 2020].
- [38] M. C. Leu, H. A. ElMaraghy, A. Y. Nee, S. K. Ong, M. Lanzetta, M. Putz, W. Zhu and A. Bernard, "ScienceDirect," 2013. [Online]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850613001959>. [Consultado 14 Noviembre 2020].
- [39] Mercado Libre, "Mercado Libre," [Online]. Disponible: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-499968243-google-cardboard-para-android-41-o-superior-o-ios-80-o-sup-\\_JM#position=1&type=item&tracking\\_id=7f58a979-499b-459a-bf1f-2dc18377af2f](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-499968243-google-cardboard-para-android-41-o-superior-o-ios-80-o-sup-_JM#position=1&type=item&tracking_id=7f58a979-499b-459a-bf1f-2dc18377af2f). [Consultado 24 Noviembre 2020].
- [40] MR.CARDBOARD, "MR.CARDBOARD," [Online]. Disponible: <https://mrcardboard.eu/es/que-es-google-cardboard-como-funciona-google-cardboard/>. [Consultado 24 Noviembre 2020].
- [41] Realidad Virtual, "Realidad Virtual," Amazon, [Online]. Disponible: <https://derealidadvirtual.site/gafas-realidad-virtual/htc-vive-steam/#:~:text=vs%20Oculus%20Rift,HTC%20Vive%20Precio%202020%20%F0%9F%92%B0,algo%20sin%20duda%20a%20agradecer>. [Consultado 24 Noviembre 2020].
- [42] J. Pastor, "Xalaka," Webedia, 22 Marzo 2017. [Online]. Disponible: <https://www.xataka.com/accesorios/brindemos-por-unas-htc-vive-2-que-llegaran-sin-cables-y-con-resolucion-4k-segun-digitimes>. [Consultado 24 Noviembre 2020].
- [43] Oculus, "Oculus From Facebook," Facebook, [Online]. Disponible: [https://www.oculus.com/rift-s/?locale=es\\_ES](https://www.oculus.com/rift-s/?locale=es_ES). [Consultado 23 Noviembre 2020].

- [44] Oculus, "Oculus for developers," Facebook, [Online]. Disponible: [https://developer.oculus.com/?locale=es\\_ES](https://developer.oculus.com/?locale=es_ES).  
] [Consultado 23 Noviembre 2020].
- [45] Microsoft, "Microsoft HoloLens 2," Microsoft, [Online]. Disponible: <https://www.microsoft.com/es-es/p/HoloLens-2/91PNZZZNWCP/?activetab=pivot:overviewtab>. [Consultado 23 Noviembre 2020].
- [46] G. Sama, "c|net español," 24 Febrero 2019. [Online]. Disponible: <https://www.cnet.com/es/analisis/microsoft-hololens-2-primero-vistazo/>. [Consultado 23 Noviembre 2020].
- [47] Plain Concepts, "Plain Concepts Rediscover the meaning of technology," Plain Concepts, [Online]. Disponible: <https://www.plainconcepts.com/es/microsoft-hololens/>. [Consultado 23 Noviembre 2020].
- [48] coachtec, "coaching tecnológico," 4 Noviembre 2014. [Online]. Disponible: <https://www.coaching-tecnologico.com/que-son-las-google-glass-como-funcionan-y-que-se-siente-al-llevarlas/>. [Consultado 24 Noviembre 2020].
- [49] MEDIOTIEMPO, "MEDIOTIEMPO," 22 Mayo 2019. [Online]. Disponible: <https://www.mediotiempo.com/otros-mundos/tecnologia/google-glass-enterprise-edition-2-cuestan-video>. [Consultado 24 Noviembre 2020].
- [50] C. Muela, "Xalaka," Webedia, 12 Agosto 2018. [Online]. Disponible: <https://www.xataka.com/realidad-virtual-aumentada/no-estaban-muertas-google-glass-enterprise-salen-a-la-venta-y-para-esto-sirven-en-2017>. [Consultado 24 Noviembre 2020].
- [51] R. Álvarez, "Xalaka," Webedia, 20 Mayo 2019. [Online]. Disponible: <https://www.xataka.com/wearables/google-glass-resurgen-cenizas-tercera-generacion-basada-android-999-dolares>. [Consultado 24 Noviembre 2020].
- [52] Fusion Electronix, "Fusion Electronix," [Online]. Disponible: <https://cl-fusionelectronix.glopalstore.com/amp/spieltek-vr-m1-virtual-reality-goggles-plus-smartphone-headset/>. [Consultado 2 mayo 2021].
- [53] M. M. Arias, "El significado de los intervalos de confianza," *Pediatría Atención Primaria*, vol. 15, no. 57, pp. 91-94, 2013.
- [54] Ministerio de Educación, "La educación es de todos Mineducación," [Online]. Disponible: [https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-299734.html?\\_noredirect=1](https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-299734.html?_noredirect=1). [Consultado 11 Octubre 2020].
- [55] Código 21 tecnologías creativas, "Código 21 tecnologías creativas," [Online]. Disponible: <https://codigo21.educacion.navarra.es/autoaprendizaje/realidad-virtual-con-las-google-cardboard/#:~:text=Las%20Google%20Cardboard%20son%20unas,un%20tel%C3%A9fono%20m%C3%B3vil%20tipo%20smartphone..> [Consultado 21 Octubre 2020].
- [56] SoftwareLab, "SoftwareLab.com," SoftwareLab, [Online]. Disponible: <https://softwarelab.org/es/que-es-hardware-y-software-definicion-y-diferencias/>. [Consultado 24 Noviembre 2020].
- [57] J. Ferrer, "Universidad Oberta de Catalunya," [Online]. Disponible: <http://multimedia.uoc.edu/blogs/rx/es/2018/03/11/hmd-head-up-display/>. [Consultado 28 Noviembre 2020].
- [58] Deloitte, "Deloitte," [Online]. Disponible: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>. [Consultado 12 Octubre 2020].

- [59 D. Betancourt, "Ingenio Empresa," 19 Abril 2018. [Online]. Disponible: <https://ingenioempresa.com/matriz-foda/>.  
] [Consultado 12 Octubre 2020].
- [60 Tekniker, "SISTEMAS CIBER-FÍSICOS," [Online]. Disponible: <https://www.tekniker.es/es/sistemas-ciber-fisicos>.  
] [Consultado 12 Octubre 2020].
- [61 DOINTECH, "DOINTECH," [Online]. Disponible: <http://www.dointech.com.co/control-personal.html>. [Consultado 12  
] Octubre 2020].
- [62 M. Lozano, "WhistleOut," 17 Febrero 2020. [Online]. Disponible:  
] <https://www.whistleout.com.mx/CellPhones/Guides/que-es-un-smartphone..> [Consultado 28 Noviembre 2020].
- [63 R. Pereira and A. Cruz, "GAMBA academy," 15 Diciembre 2016. [Online]. Disponible:  
] <https://www.gembaacademy.com/blog/es/2016/12/16/que-son-y-como-calcular-el-tiempo-de-ciclo-cycle-time-takt-time-y-tiempo-de-espera-lead-time-1>. [Consultado 24 Noviembre 2020].
- [64 Samsung, "Samsung," 22 septiembre 2020. [Online]. Disponible: <https://www.samsung.com/latin/support/mobile-devices/what-is-an-apk/>. [Consultado 15 mayo 2021].

## VIII. ANEXOS

TABLA XIII.  
ANEXOS.

No. Anexo	Nombre	Desarrollo	Tipo de archivo
1	2020211-Anexo 1. Metodología general Índice de producción industrial	Equipo de proyecto	Word
2	2020211-Anexo 2. Requisitos grupos de interés	Equipo de proyecto	Word
3	2020211-Anexo 3. Plan de recolección de datos	Equipo de proyecto	Excel
4	2020211-Anexo 4. Entrevista Ingeniero	Equipo de proyecto	Word
5	2020211-Anexo 5. Tiempos extraídos YouTube	Equipo de proyecto	Word
6	2020211-Anexo 6. Escala de sistemas de usabilidad	Equipo de proyecto	Word
7	2020211-Anexo 7. Método Disney – Exploración de Ideas	Equipo de proyecto	Word
8	2020211-Anexo 8. Matriz AHP etapa ANALIZAR	Equipo de proyecto	Excel
9	2020211-Anexo 9. Project	Equipo de proyecto	Project
10	2020211-Anexo 10. Pasos entrenamiento virtual	Equipo de proyecto	Word
11	2020211-Anexo 11. Código Visual Studio	Equipo de proyecto	Txt
12	2020211-Anexo 12. Matriz AHP etapa DISEÑAR	Equipo de proyecto	Excel
13	2020211-Anexo 13. Consentimiento	Equipo de proyecto	Word
14	2020211-Anexo 14. Protocolo	Equipo de proyecto	PDF
15	2020211-Anexo 15. Cuestionarios	Equipo de proyecto	Word
16	2020211-Anexo 16. Simulación de datos	Equipo de proyecto	Excel
17	2020211-Anexo 17. Explicación Simulación Datos y Pruebas de hipótesis	Equipo de proyecto	Word