



FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES

**SISTEMA DE GESTIÓN Y VISUALIZACIÓN DE DISEÑOS CAD
MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL. CASO: SECTOR DISEÑO Y
MANUFACTURA EN PERÚ**

Tesis para optar el Título Profesional de
MAESTRO EN DIRECCIÓN ESTRATÉGICA EN TECNOLOGÍAS
DE LA INFORMACIÓN

Presentada por:

BACH. Luis Eduardo Ruiz Gamarra (0000-0002-4755-8074)

ASESOR: Dr. Jon Arambarri (0000-0002-6450-8562)

LIMA- PERÚ

2020



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 15 de octubre de 2020

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente	SANDRA MEZA BALVIN
Miembro 1	JENNY MILAGROS GUTIÉRREZ FLORES
Miembro 2	HUGO ELADIO CHUMPITAZ CAYCHO

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:
**“SISTEMA DE GESTIÓN Y VISUALIZACIÓN DE DISEÑOS CAD MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL.
 CASO: SECTOR DISEÑO Y MANUFACTURA EN PERÚ”**

Presentado por el(la) bachiller.
LUIS EDUARDO RUIZ GAMARRA

Para optar al grado de
MAESTRO EN DIRECCIÓN ESTRATÉGICA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Asesorado(a) por:
JON ARAMBARRI

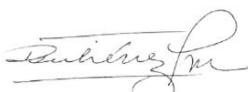
Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de(l) (los) estudiante del **postgrado de la Maestría en Dirección Estratégica en Tecnologías de la Información** en la sustentación, concluyen de manera unánime (x) por mayoría simple () calificar a:

Tesista:	LUIS EDUARDO RUIZ GAMARRA		
Nota (en letras):	14 (Catorce)		
Aprobado (x)	Aprobado - Muy buena ()	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.


 SANDRA MEZA BALVIN
Presidente(a) del Jurado


 JON ARAMBARRI
Asesor(a)


 JENNY MILAGROS GUTIÉRREZ FLORES
Miembro 1


 HUGO ELADIO CHUMPITAZ CAYCHO
Miembro 2

Dedicatoria

Dedicado a mi Mamá Ana, a mis hermanas
Gabriela y Griselda. Y a todas las personas que en
su silencio construyen la paz.

Agradecimientos

Al Dr. Dr. Jon Arambarri por su asesoría constante
y a las personas que hicieron posible este trabajo
de investigación.

Índice general

Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice general.....	v
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas.....	xi
Índice de anexos.....	xii
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2. Formulación del problema	8
a. Problema general.....	8
b. Problemas específicos	8
1.3. Justificación de la investigación	9
a. Justificación práctica.....	10
b. Justificación teórica	11
c. Justificación metodológica	11
1.4. Limitaciones de la investigación.....	12
1.5. Viabilidad de la investigación.....	13
a. Viabilidad técnica.....	13
b. Viabilidad económica.....	14
c. Viabilidad temporal	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Antecedentes de la investigación.....	15
2.2. Bases teóricas	24
a. Realidad virtual	24
b. Definición	39
c. Realidad virtual, aumentada, telepresencia, ciberespacio y realidad mixta.....	44
e. Mundo Virtual y Entorno Virtual	46

f. Taxonomía del sistema de realidad virtual.....	47
g. Arquitectura de un sistema de realidad virtual.....	53
h. Hardware	56
i. Software.....	82
2.3. Diseño y prototipo virtuales.....	91
2.4. Modelo y análisis 3D CAD.....	98
2.5. Manufactura virtual.....	102
2.6. La realidad virtual en el proceso de manufactura.....	104
2.7. Proceso de aplicabilidad de realidad virtual en el CAD.....	108
a. Modelo propuesto por Choi	108
b. Modelo propuesto por Cardona	114
c. Propuesta de valor a partir de los modelos descritos	118
2.8. Objetivos de la investigación.....	131
a. Objetivo general	131
b. Objetivos específicos	131
2.9. Formulación de hipótesis	132
a. Hipótesis general	132
b. Hipótesis específicas.....	132
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO.....	133
3.1. Diseño de la investigación	133
3.2. Tipo.....	134
3.3. Enfoque	134
3.4. Población	134
3.5 Muestra	134
a. Criterios de inclusión de la muestra	135
b. Criterios de exclusión de la muestra	135
3.6. Operacionalización de variables.....	135
3.7. Técnicas para la recolección de datos.....	135
a. Encuesta.....	136
b. Entrevista	136
c. Análisis documental.....	136
d. Observación experimental.....	136

3.8. Técnica para el procesamiento y análisis de datos	136
3.9. Aspectos éticos.....	137
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	138
4.1. Descripción breve de la empresa	138
4.2. Resultados de inicio de la investigación.....	139
4.3. Resultados de validación de final de investigación.....	149
4.4. Resultado de nivel de productividad.....	151
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	156
5.1. Discusión.....	156
5.2. Conclusiones.....	164
5.3. Recomendaciones	167
Referencias.....	168
Abreviaturas.....	176
Glosario de conceptos.....	178
Anexos.....	181

Índice de figuras

Figura 1. Modelo para asistir en el proceso de diseño y fabricación de productos a través del uso de prototipos virtuales	17
Figura 2. Una sección transversal del edificio de Londres donde Robert Barker exhibió sus pinturas panorámicas	25
Figura 3. La pintura panorámica Edimburgo de la corona de St. Giles	26
Figura 4. Estereoscopio	26
Figura 5. Primer HMD [a Periscope] patentado por Pratt	27
Figura 6. Fotografía de simulador de avión creado por Link en 1928	28
Figura 7. Pasta del cuento Pygmalion	29
Figura 8. Fotografía de persona usando el Sensorama	30
Figura 9. Figura de la patente del Sensorama Morton Heilig	30
Figura 10. Ivan Sutherland creó una pantalla viable montada en la cabeza en 1968.	32
Figura 11. Usuario experimentando e interactuando con un mundo virtual	34
Figura 12. Imagen de Traje VPL con sensores de movimiento en piernas y brazos	34
Figura 13. Oculus Rift dk-2	37
Figura 14. Google Cardboard	38
Figura 15. HoloLens 2.0	39
Figura 16. El constructo de la realidad virtual que contempla tres perspectivas	43
Figura 17. Continuidad de la Realidad Virtual	45
Figura 18. Diferencias entre VR, RA y RM	46
Figura 19. Relación de la realidad mixta con la realidad virtual y aumentada	51
Figura 20. Componentes básicos de un sistema de realidad virtual	54
Figura 21. Componentes de un sistema de realidad virtual	54
Figura 22. Grados de libertad de los Head-mounted display	59
Figura 23. Muestra de periféricos de entrada	61
Figura 24. Ubicación de monitores de audio en un CAVE	68
Figura 25. Diferencia de audífonos, over-ear, in-ear, y on-ear	71
Figura 26. Traje háptico para un sistema de realidad virtual	75
Figura 27. Sistema CyberForce integrado con el exoesqueleto CyberGrasp	76
Figura 28. Dispositivo háptico Touch X	76

Figura 29. Simulador LapVR de CAE	77
Figura 30. Sistema háptico de teleexistencia	78
Figura 31. Participante recibe pistas sobre el mundo virtual	79
Figura 32. Guante que en base a colores detecta elementos en el mundo virtual	82
Figura 33. Fases del diseño basado en la propuesta de Marko Vuletic	91
Figura 34. Paradigma del diseño digital propuesto por Kuang Hua Chang	92
Figura 35. Componentes de un prototipo virtual propuesto por Wang	95
Figura 36. Definición de herramientas CAD basadas en sus componentes	98
Figura 37. Definición de herramientas CAD basadas en su implementación en un entorno de diseño	99
Figura 38. Definición de herramientas CAD /CAM basadas en sus componentes	101
Figura 39. Sistema de ingeniería virtual realista	110
Figura 40. La necesidad de un framework	112
Figura 41. Workflow del modelo de la integración de CAD2VR	115
Figura 42. Metodología de aplicación de CADtoVR en el proceso de PL	121
Figura 43. Selección del concepto	122
Figura 44. Estructura diseño a nivel de sistema	123
Figura 45. Estructura del detalle del diseño	124
Figura 46. Proceso de conversión de formato CAD To VR	125
Figura 47. Fase DMU y ensamble virtual	126
Figura 48. Diagrama del procesamiento en un sistema de realidad virtual	127
Figura 49. Cuadro resumen del proceso de NPD - RV	128
Figura 50. Diagrama de flujo para desarrollar entornos para prototipos virtuales en ambientes inmersivos	129
Figura 51. Casuística de uso de software	130
Figura 52. Resultado a la pregunta Puesto de trabajo del personal	139
Figura 53. Resultado a la pregunta Nivel educativo de los sujetos de investigación	140
Figura 54. Resultado a la pregunta Tipo de software que utiliza el personal	141
Figura 55. Resultado a las preguntas sobre Diseño CAD	141
Figura 56. Resultado a pregunta nivel de satisfacción del uso de los sistemas CAD	142
Figura 57. Resultado a la pregunta objetivos de los análisis al modelo 3D	144
Figura 58: Resultado a la pregunta Usos del CAE	144

Figura 59. Resultado a la pregunta Usos del prototipo digital	145
Figura 60. Resultado a las preguntas sobre adaptación tecnológica por parte de la empresa	146
Figura 61. Resultado a la pregunta si el sujeto de investigación se adapta rápidamente al uso de una nueva tecnología	147
Figura 62. Resultado a pregunta Uso de otro tipo de tecnología de fabricación	147
Figura 63. Resultado a la pregunta Uso de la realidad virtual (VR)	148
Figura 64: Resultado a las preguntas de tabulación de la validación de la hipótesis	150
Figura 65. Gráfica de productividad horas-hombre del diseño de modelo de Case de computadora hasta la fase de análisis y evaluación	153
Figura 66. Gráfica comparativa de los costos hora-hombre para la realización del diseño de un case de computadora	154

Índice de tablas

Tabla 1 CPU [Unidad central de procesamiento] y periféricos I/O mínimos	52
Tabla 2 Componentes de hardware y software de un sistema de realidad virtual	55
Tabla 3 Presentación visual	64
Tabla 4 Propiedades logísticas	66
Tabla 5 Principales dispositivos Head-mountain display	67
Tabla 6 Modelado de Geometría 3D	87
Tabla 7 Integración con dispositivos [game engine]	89
Tabla 8 Plataforma de distribución [Cloud]	90
Tabla 9 Fases del diseño y herramientas CAD	100
Tabla 10 Los tipos de modelado geométrico	100
Tabla 11 Aplicación de realidad virtual (VR) basada en PLM en el desarrollo de productos	109
Tabla 12 Pregunta sobre el uso de la realidad virtual (VR)	148
Tabla 13 Tabulación de preguntas de validación de hipótesis de investigación	149
Tabla 14 Matriz de evaluación de diseño	152
Tabla 15 KPI de productividad y unidades de medidas	152
Tabla 16 Consolidado de producción y ventas	155
Tabla 17 Cálculo de ROI	155
Tabla 19 Comparativa entre objetivo general y los resultados obtenidos	165
Tabla 20 Comparativa entre objetivos específicos y los resultados obtenidos	165
Tabla 21 Comparativa entre hipótesis general y los resultados obtenidos	166
Tabla 22 Comparativa entre hipótesis específicas y los resultados obtenidos	166

Índice de anexos

Anexo 1	178
Anexo 2	180
Anexo 3	181
Anexo 4	189
Anexo 5	190

RESUMEN

El presente trabajo de investigación aborda el proceso de implantación de un sistema de realidad virtual en una empresa manufacturera y cómo puede ser un medio de gestión para los diseños CAD. La realidad virtual ha abierto muchas posibilidades para asistir a los diseñadores e ingenieros encargados del proceso de desarrollo de productos en el diseño y fabricación dentro del ciclo de creación de productos. Adecuando esta tecnología para realizar validaciones del producto antes de su manufactura y experimentando con un prototipo digital de manera natural en un entorno virtual-inmersivo, interactivo y configurable, de este modo se disminuyen, de manera significativa, los riesgos y costos asociados en el proceso de diseño.

El presente trabajo describe los conceptos principales sobre realidad virtual y su nexo con la manufactura virtual, por ello, se realizó un análisis de las principales teorías, para luego examinar a los especialistas en diseño CAD de una empresa manufacturera e instruirles en la adaptación de la tecnología de realidad virtual en su trabajo y, con esto, la puedan aplicar en la creación de nuevos productos; utilizando una metodología y un modelo ordenado de implantación de la realidad virtual en la manufactura.

Palabras clave: realidad virtual, diseño asistido por computadora CAD, manufactura virtual, prototipo virtual, ciclo de vida del producto

ABSTRACT

The present investigation work addresses the process of implantation a virtual reality system in a manufacturing company and how it can be a mean of management for CAD designs. Virtual reality has opened many possibilities to assist designers, engineers in charge of the product development process, in the design and manufacture within the product creation cycle. By adapting this technology to perform product validations before manufacturing and experimenting with a digital prototype in a natural way in a virtual-immersive, interactive and configurable environment, the risks and costs associated with the design process are significantly reduced.

This paper describes the main concepts about virtual reality and its linkage with virtual manufacturing, an analysis of the main theories has been made, for later examine the CAD design specialists of a manufacturing company and instructing them in the adaptation of virtual reality technology in their job and could be applied in the creation of new products using a methodology and an orderly model of implantation of virtual reality in manufacturing.

Keywords: virtual reality, CAD computer-aided design, virtual manufacturing, virtual prototype, product life cycle

INTRODUCCIÓN

La industria de la manufactura se ha vuelto más competitiva cada día, muchas de ellas basadas en el conocimiento, la innovación constante y en el uso de nuevas tecnologías centradas, fundamentalmente, en la información y comunicación. Para toda empresa su activo principal es el manejo de información, una empresa en el que la carga de información de sus activos es grande, esta debe de estar manejada de forma correcta para lo que se hace un uso efectivo de tecnologías digitales. En el caso de una empresa de manufactura, la fase más crítica en el proceso de desarrollo de un producto es el diseño y prototipado, entonces, para que la información fluya en todas las áreas se hace uso de tecnologías digitales que facilitan la generación de productos dentro de un ambiente virtual generado por el computador, en el que se simulan cada uno de los cambios del producto, se analizan los diferentes parámetros para encontrar la combinación más satisfactoria, obteniendo así, un producto de calidad que cumpla los requerimientos del cliente.

El diseño en la manufactura vasado en la utilización de herramientas informáticas viene de muchos años atrás, al que se le fueron incorporando herramientas como el CAD, CAE y CAM, y se crearon sistemas o metodologías de trabajo como el CIM con las que se mejoraron los procesos y minimizaron los tiempos de desarrollo, con un consumo menor de recursos, tanto humanos como materiales, pero la tecnología no es estática, sigue avanzando; a la par, los sistemas convencionales fueron mutando a sistemas más activos de trabajo colaborativo y multidisciplinarios, en el que se propone que en el diseño y prototipado se incluya la manufactura virtual inmersiva para enfrentar los nuevos retos en el ciclo de vida del producto.

La presente investigación trata de cimentar, a través de un documento, un sistema de gestión y visualización de diseños CAD mediante Realidad Virtual. No se puede negar que esta tecnología ha abierto muchas posibilidades en la manufactura, desde el diseño en un espacio inmersivo colaborativo hasta su validación y ensamble, pasando por las fases de modificación del producto hasta el prototipado que ayuden a la empresa y a sus clientes en la toma de decisiones.

El trabajo de investigación está organizado en 5 capítulos:

En el capítulo 1 se presenta el planteamiento del problema, la descripción problemática, la formulación del problema, la justificación, las limitaciones del proceso y finalmente la viabilidad de la investigación.

En el capítulo 2 se describe el marco teórico, en el que se abordan temas como los antecedentes de la investigación y se realiza un estudio a las bases teóricas que servirán de sustento a la investigación; finalmente, en este capítulo se mencionan los objetivos de la investigación y se definen las hipótesis.

En el capítulo 3 se menciona el diseño metodológico que se utilizó, la muestra de los sujetos de investigación, las variables operacionales y los aspectos técnicos para la recolección de datos y procesamiento de estos.

En el capítulo 4 se muestran los resultados de las técnicas de recolección de datos, mostrados en tablas y gráficos.

En el capítulo 5 se discute la tesis sobre la base de los resultados, obteniendo las conclusiones y las recomendaciones finales.

Este trabajo continuará alimentándose de información, en algunas páginas encontrará códigos QR e imágenes que podrá acceder con el uso de dispositivos digitales y de realidad virtual.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El proceso de transformación de recursos naturales o artificiales para obtener un producto es conocido como manufactura, a mayor manufactura en un país este despunta en su desarrollo y su población tiene una mejor calidad de vida. Países como Estados Unidos, cuya producción manufacturera creció a un ritmo de 3.1% en el 2018 en comparación con el 1.8% del año 2017; y la Unión Europea cuya tasa de crecimiento es a 2.6% (Anuario internacional de Estadísticas Industriales, 2019), donde destaca Alemania que ha logrado una eficiencia en la manufactura de alta complejidad; sin dejar de mencionar a los países como China, considerado industrializado gracias al potencial manufacturero-tecnológico que tiene «*Danfoss en Wuqing* que está dentro de las 16 fábricas más inteligentes del mundo según el foro económico mundial» (ACR Latinoamérica, 2019, web); Japón, presentando una industria que está en constante avance por la gran inversión que hacen en tecnología. El potencial manufacturero de estos países hace que la población goce de los réditos obtenidos y que se vean

reflejados en una mejor calidad de vida frente a países con baja o nula industrialización.

Con el transcurso de los años, el proceso de manufactura ha sufrido transformaciones e innovaciones; ahora bien, con el apoyo de las tecnologías se introdujeron conceptos que permitieron trabajar, con orden lógico, una metodología o un sistema de trabajo, tales como la producción en cadena propuesto por Henry Ford en base a la idea de *Ransom Olds* o conceptos más actuales como el CIM [manufactura integrada por computadora] que quiebra la idea de procesos aislados e integra los sistemas computarizados y herramientas tales como CAD [*computer aided design*], CAE [*computer aided engineering*], CAM [*computer aided manufacturing*] conjuntamente con filosofías administrativas en el proceso de desarrollo de productos.

A pesar de que el ciclo de vida de un producto (PL) en sus procesos ha logrado un avance significativo, existen áreas sensibles que afectan directamente en la calidad tiempo y costo, una de estas áreas es el diseño del producto, Kalpakjian afirma que «el diseño del producto es una actividad crítica, porque se estima que 70% u 80% del costo de desarrollo y manufactura de un producto está determinado por las decisiones tomadas en las etapas iniciales del diseño». «En esta etapa es altamente deseable, e incluso fundamental, un método innovador de diseño, para que el producto sea exitoso en el mercado y se obtengan ahorros importantes en costos de materiales y de producción» (Kalpakjian, 2014, p. 11). Otros autores sostienen que es necesario que el diseño de productos no solo utilice sistemas CAD con metodologías convencionales, ya que también se deben utilizar entornos virtuales de diseño y fabricación conocidos como manufactura virtual, que permita abordar de una manera distinta el proceso de diseño, un sistema que tenga un componente de interactividad e inmersión,

permitiendo analizar, simular y evaluar el producto de una manera más natural, logrando una adecuada toma de decisiones. Según Cardona «el desarrollo rápido de productos, la innovación y una comprensión más intuitiva del proceso y del producto, son beneficios adicionales que se obtienen por la utilización de prototipos virtuales dentro del proceso de diseño» (Cardona, 2007, p. 13).

Los procesos de diseño y manufactura en una empresa convencional suelen efectuarse de forma consecutiva conocida como «comunicación sobre pared», este proceso puede parecer normal y lógico, pero en la práctica se desperdician recursos y tiempo; por ejemplo, al crear un producto X este tendrá que pasar de un departamento a otro hasta llegar al mercado. Qué sucedería si uno de los departamentos observa un error, el producto X tendrá que regresar y repetir la etapa de análisis del diseño, con el objetivo de que el producto cumpla las expectativas. Muchas empresas manufactureras están cambiando este modo de trabajo por una nueva metodología, que consiste en unificar los procesos para trabajar de manera conjunta y multidisciplinaria en un esfuerzo sistemático para un diseño integrado conocido como ingeniería concurrente, en el que se emplea más tiempo en la definición detallada del producto y la planificación, logrando un prototipo rápido para el análisis y las distintas pruebas antes de la fase de producción, aun así se siguen consumiendo recursos y tiempo.

Tanto en las metodologías tradicionales como en la ingeniería concurrente o en otros sistemas que tratan del proceso en la manufactura, se infiere que la parte más sensible en el ciclo de vida de un producto es la planificación del diseño y el diseño en sí del producto, es por esta razón que las empresas siempre están en proceso de adaptación de nuevas tecnologías; una de estas tecnologías que abre un abanico de

posibilidades en actividades de diseño y fabricación es la realidad virtual (VR) que podría aportar, tal como manifiesta Cardona, «la realidad virtual (VR) da la posibilidad de experimentar de forma más natural con prototipos analíticos tridimensionales, interactivos, inmersivos y configurables» (Cardona, 2007, p. 13), los que reducirán significativamente los costos y tiempos que demanda la realización de un prototipo físico.

Las empresas más importantes de manufactura a nivel mundial ya han introducido el uso de la realidad virtual (VR) en sus procesos, utilizando sistemas y metodologías propias, un caso concreto es Boeing, que usa la tecnología de VR y AR para facilitar la tarea de sus empleados, los que han incrementado su productividad en un 40%. Se calcula que el gasto mundial en VR y AR para el 2020 será de 18.800 millones de dólares según IDC y se prevé una tasa de crecimiento hasta el 2023 a una tasa anual de 77% según *La guía de gastos en realidad virtual y realidad aumentada de IDC*. Después de que en el 2017 la tecnología de la realidad virtual no fue su mejor momento, el 2018 se reorientó con fuerza hacia la manufactura e industria de alta precisión según estudios realizados por Gartner, un claro ejemplo es la compañía fabricante de automóviles Ford que comenzó a emplear la RV para capturar los movimientos y acciones de los ingenieros en la planta de montaje y de esta manera aminorar los accidentes, reduciendo el 70% de las lesiones y 90% de problemas de ergonomía. Capgemine en su informe *Augmented and Virtual Reality in Operations* elaborado a partir de entrevistar a más de 700 ejecutivos de diversos sectores de la manufactura e industria dice que el 53% cree que las tecnologías de realidad virtual tardarán entre tres a cinco años en implantarse de forma generalizada en sus empresas. El 50% de las empresas que fueron encuestadas y que aún no han implantado esta tecnología la

usarán en los próximos 3 años y el 82% de las empresas que ya utiliza esta tecnología aseveran que han superado sus expectativas, por lo que, la realidad virtual será clave en la *Customer Experience*.

Las áreas detectadas dentro de la manufactura son:

- Diseño y ensamble
- Entrenamiento inmersivo
- Inspección y control de calidad
- Reparación y mantenimiento

El uso de la realidad virtual para asistir en el diseño y manufactura abren posibilidades para los diseñadores, ingenieros y personal responsable del proceso en el ciclo de vida del producto, siendo Estados Unidos uno de los países que más está invirtiendo en la implantación de esta tecnología en sus empresas manufactureras. En Perú, la industria manufacturera ha crecido en 2,5% en el 2019, acumulando varios meses de crecimiento ininterrumpido (Ministerio de la Producción), pero el desarrollo tecnológico y la implantación de nuevas tecnologías en las Mypes manufactureras son mínimas, y la adopción en innovación tecnológica es con cierta timidez y sin una metodología adecuada de implantación. En el caso del uso de la realidad virtual en los procesos, las empresas manufactureras utilizan esta tecnología como visualizador de sus productos convirtiéndose más en una herramienta de marketing y dejando de lado todo el potencial que se puede generar con esta tecnología, una de las limitaciones que presuponen las empresas es el alto costo de hardware y software o las estructuras complejas que tendrían que construir, especulan que difícilmente una empresa local y de menor envergadura podría utilizar estos sistemas para su área de CAD, desconociendo que existen tecnologías de realidad virtual (VR) a menor costo y que se

pueden adaptar a una empresa local, lo importante es implementar un sistema de trabajo para gestionar adecuadamente la realidad virtual (VR) y se utilice de manera eficaz en el área más sensible que es el diseño y como brazo extensor del CAD para la realización de prototipos virtuales. Por este motivo, la pregunta principal a responder en esta investigación está formulada a continuación.

1.2. Formulación del problema

a. Problema general

¿Un sistema de gestión y visualización utilizando realidad virtual en el CAD permitirá disminuir los costos y tiempos en el proceso de desarrollo de productos?

b. Problemas específicos

- ¿Utilizando la realidad virtual en el CAD se podrá obtener información más acertada del concepto, de esta forma corregir y validar en un entorno inmersivo real?
- ¿Implementando un sistema de realidad virtual se logrará una mejor interrelación entre el diseño, el análisis y herramientas de simulación con más acierto?
- ¿Un prototipo virtual en un entorno inmersivo facilitará el ensamble y desensamble del producto y verificar la facilidad de uso?
- ¿En un modelo 3D y en un espacio de realidad virtual será más sencillo percibir y juzgar el contexto de profundidad frente a un modelado CAD bidimensional? Siendo en un espacio 3D más deseable una imagen realista y no formas abstractas y geométricas.

1.3. Justificación de la investigación

Una de las actividades fundamentales y críticas dentro del ciclo de vida de un producto en la manufactura es la fase de diseño, es en esta fase donde se definen las funciones, usos previstos y el desempeño esperado de un producto. Para tal fin se hace necesaria la ayuda de analistas y personas inmersas en la creación del producto incluyendo marketeros y personal de ventas, así como clientes potenciales, que aporten información valiosa y colaboren en la toma de decisiones. Para que esto ocurra, las actividades deben de tener metodologías que tenga una lógica, que sea directa y bajo un sistema estructurado de trabajo; si bien es cierto los avances tecnológicos y la introducción de conceptos como el *rapid prototyping*, ingeniería concurrente en el que las distintas áreas trabajaban de forma conjunta, unido a herramientas tecnológicas como CAD, CAM y CAE, a las distintas fases del ciclo de vida de un producto, han logrado que el trabajo sea eficiente, flexible y que logre los estándares previstos en tiempo, pero con la contingencia de desperdicio de recursos que sigue siendo un escollo para las empresas de diseño y de manufactura. Con la introducción de la realidad virtual (VR) como tecnología de asistencia y extensión del CAD, se abren un sinnúmero de usos para los diseñadores e ingenieros encargados del proceso de desarrollo del producto, con la posibilidad de interactuar de forma más natural con prototipos analíticos en un entorno 3D, inmersivo, configurable [adaptable] y que permita un análisis tanto individual como cooperativo; facilitando la toma de decisiones y reduciendo significativamente el uso de recursos y costos asociados a los prototipos físicos, además de una reducción sustancial de tiempo, ya que no se fabricarán productos físicos, que impliquen gastos en materiales y movilidad del producto para la experiencia de usuario.

La investigación se justifica, porque no solo es necesario que la empresa utilice la realidad virtual (VR) como una herramienta de visualización, pudiendo aprovechar otros beneficios como la comunicación, la validación de las piezas, el ensamble, la reducción de tiempos de entrenamiento, la toma de decisiones y otros. Pero es importante que la tecnología de realidad virtual (VR) sea implantada bajo cierto tipo de procesos enmarcados en un sistema con una metodología, razón por la cual se plantea un sistema de gestión y visualización de diseños CAD mediante realidad virtual (VR), con la constante de trabajar en el establecimiento de la tecnología en la empresa y fundamentalmente con la posibilidad de su aceptación por parte del personal encargado, ingenieros e intervinientes, incluyendo los clientes, porque son los que participan activamente en el proceso. El modelo propuesto a partir de los resultados logrados se podrá implantar en otras empresas, logrando también que mejoren sus procesos en el ciclo de vida del producto.

a. Justificación práctica

Toda empresa manufacturera para su existencia demanda aminorar los costos de producción y el ahorro significativo en los procesos. La presente investigación plantea que, al implantar un sistema de gestión basado en la realidad virtual en el CAD, se reducen los costos y tiempos en el ciclo de vida del producto, además que ayuda a los intervinientes en la toma de decisiones, como consecuencia esto incide directamente en los resultados económicos de la empresa.

b. Justificación teórica

La utilización de diversas herramientas tecnológicas en la manufactura y el diseño siempre ha sido una constante, fundamentadas en la aplicación de herramientas teóricas, informáticas y experimentales [generación de nuevos softwares], todo esto con el objetivo de la mejora de procesos en el ciclo de vida de un producto. La realidad virtual (VR) se está usando en varias áreas del conocimiento, cada área con un sistema propio, en el caso del diseño y la manufactura se están generando estudios partiendo del desarrollo de aplicativos como herramientas, pero son pocas las investigaciones que proponen un modelo de gestión sistematizado para asistir en el proceso de diseño y manufactura de productos a través de la utilización de prototipos virtuales.

En la propuesta de investigación se toma estos estudios y modelos teóricos, primero como un análisis sistémico, como necesidad de buscar nuevos conocimientos y la adquisición de competencias necesarias para cumplir los objetivos planteados, posteriormente se toman los métodos propuestos por los investigadores, para generar una variante y que ciertos sectores de la industria puedan adoptar, luego de demostrar que el proceso de diseño y manufactura mejora el desempeño de la empresa.

c. Justificación metodológica

La justificación metodológica en una investigación científica es la de proponer un nuevo método o técnica que genere conocimiento confiable y valido. La presente investigación realiza un estudio a los métodos propuestos sobre el uso de la realidad virtual (VR) como complemento en el diseño asistido por computadora (CAD), para el mejor desempeño en las empresas manufactureras. A través de esta investigación se

puede pensar en la generación de un sistema de trabajo con un gran componente de inmersión e interactividad que permita a través de un entorno tridimensional una gestión adecuada en el proceso de desarrollo del producto y se pueda probar, simular y evaluar en un ambiente natural e intuitivo.

1.4. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones que se ha encontrado fueron:

- Poca bibliografía y tesis de investigación aplicadas a la gestión de realidad virtual en una empresa manufacturera, la mayoría están abocadas a la creación de aplicativos y a su aplicación en la educación, turismo y medicina.
- La empresa en la que se realiza la investigación aun es renuente a aceptar la realidad virtual en el CAD, porque implica un costo que ellos no ven como beneficio a futuro.
- El personal no está capacitado en tecnología de realidad virtual (VR).
- Parte del personal sobre el que se va a investigar pasan los 50 años y es difícil su adaptación a nuevas tecnologías.
- La implantación de nueva tecnología en una empresa se tiene que realizar de forma transparente.

1.5. Viabilidad de la investigación

La viabilidad de investigación hace referencia a garantizar la factibilidad de realización, teniendo en cuenta la suficiencia de los recursos tanto técnicos, económicos y recursos humanos necesarios para llegar a los resultados deseados.

Sobre la realidad virtual (VR) se han realizado múltiples estudios, siendo esta una tecnología que va madurando a pasos agigantados muchos estudiosos y en múltiples áreas están aplicando la realidad virtual para el desarrollo de sus investigaciones, años atrás estas investigaciones eran muy difíciles de realizar tanto por los costos elevados de los recursos tecnológicos como la inmadurez de las tecnologías utilizadas, con el avance, el poder de procesamiento que han alcanzado los instrumentos tecnológicos, la movilidad, portabilidad y el abaratamiento de los costos de los recursos hicieron que las investigaciones se volvieran viables para un mayor grupo de investigadores y no solo para un grupo muy reducido en países desarrollados.

La investigación propuesta plantea un sistema de gestión y visualización de diseño CAD mediante realidad virtual (VR), la propuesta demuestra su viabilidad en las tesis de investigación revisadas que sirvieron de cimiento para la presente, aunque estas basan su estudio en el desarrollo de aplicativos y software, y relativamente pocos ayudaron a construir los fundamentos teóricos a desarrollar en base a la gestión, en la parte de comprobación no es difícil conseguir los equipos tecnológicos ya que los costos no son elevados y la mayoría del instrumental se encuentra en las tiendas especializadas en Perú.

a. Viabilidad técnica

Los recursos tales como HMD [*Head-mounted display*], gafas para realidad virtual (VR), equipos informáticos con el adecuado procesamiento, software y otros recursos tecnológicos, son fácilmente conseguibles en la región donde se plantea realizar la investigación.

b. Viabilidad económica

Siendo los recursos económicos limitados para la investigación se desarrolló un cuadro de costos y presupuestos para que se asigne de forma exacta a cada parte y proceso antes y durante la investigación garantizando la viabilidad económica.

c. Viabilidad temporal

La investigación está prevista para ser realizada en 6 meses, tiempo suficiente para realizar la investigación bibliográfica, realización de pruebas, aplicación de la metodología propuesta y finalmente la redacción de los resultados.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

La realidad virtual (VR) ha tomado protagonismo en los últimos años, no solo en los videojuegos si no en múltiples áreas desde las científicas, médicas, educación, ingeniería, arte, comercio, publicidad, marketing, industria, manufactura y otras relevantes; aunque como concepto ha existido durante mucho tiempo al igual que los ordenadores y los videojuegos, como ejemplo se tiene el *Sensorama*, un simulador capaz de generar sensaciones e ilusión a través de experiencias sensoriales desarrollada por el científico Morton L. Heilig en 1950, pero el término realidad virtual (VR) recién se populariza en los años 80 por Jaron Lanier y es en la década de los 90 que comienza su expansión debido a que los computadores incrementaron su poder de procesamiento.

Sobre las investigaciones hechas en el campo de la realidad virtual se han realizado muchas y con múltiples ejes, en el campo específico de la manufactura las investigaciones se centran en la creación de aplicativos y muy pocos en un método o

sistema de trabajo con la realidad virtual (VR) en una empresa manufacturera, aunque en la búsqueda de información se encontraron estudios valiosos que se podrán utilizar como base y aporte para la investigación planteada.

Los aportes más significativos para tomar en cuenta para la construcción de la parte teórica parten de la premisa: la aplicación ordenada y coherente de la realidad virtual (VR) como brazo extensor del CAD, en la indagación se encontró un estudio realizado por Cardona (2007) que en su investigación titulada *Prototipado, simulación y realidad virtual* publicada en un compendio realizado por la Universidad Autónoma de Occidente, dice:

La realidad virtual es una alternativa interesante para el diseño y la fabricación de productos porque abre nuevas alternativas tangibles a través de un entorno virtual e inmersivo que simula varios aspectos del producto facilitando la experimentación, validación, el análisis, en un entorno 3D configurable que permitirá riesgos y costos asociados al ciclo de vida. (Cardona, 2007, p. 13).

Cardona plantea un modelo de gestión para ser utilizado en el proceso de diseño y fabricación a través del uso de la tecnología de realidad virtual (VR), sistema que se considera como base de análisis para el propósito de la tesis.

Este modelo, según Cardona, surge como una estrategia de enseñanza del uso de la realidad virtual (VR) en el proceso de diseño y manufactura de productos a través del prototipado virtual, su principal fundamento es la solución de problemas a través de la búsqueda de conocimiento, al proporcionar herramientas para que el usuario construya sus propios procedimientos para la solución de las dificultades en el proceso

de diseño, lo que implica que las ideas que tiene el usuario puedan verse modificadas y este siga aprendiendo en dicho proceso.

Cardona plantea «El primer paso es entender el funcionamiento del producto y proponer mejoras en su diseño haciendo uso del prototipado virtual» (Cardona, 2007, p. 30). Al realizar esta acción no debe de olvidarse que el objetivo final es la manufactura de este producto en una máquina de control numérico computarizado (CNC) y que este sea funcional. Lo expuesto va incubando una serie de restricciones que se deben de tener en cuenta en el prototipado virtual. «El resultado final de esta etapa puede ser la entrada de la fase del desarrollo del prototipo físico y pueda lograrse la fabricación de las partes que conforman el producto» (Cardona, 2007, p. 30).

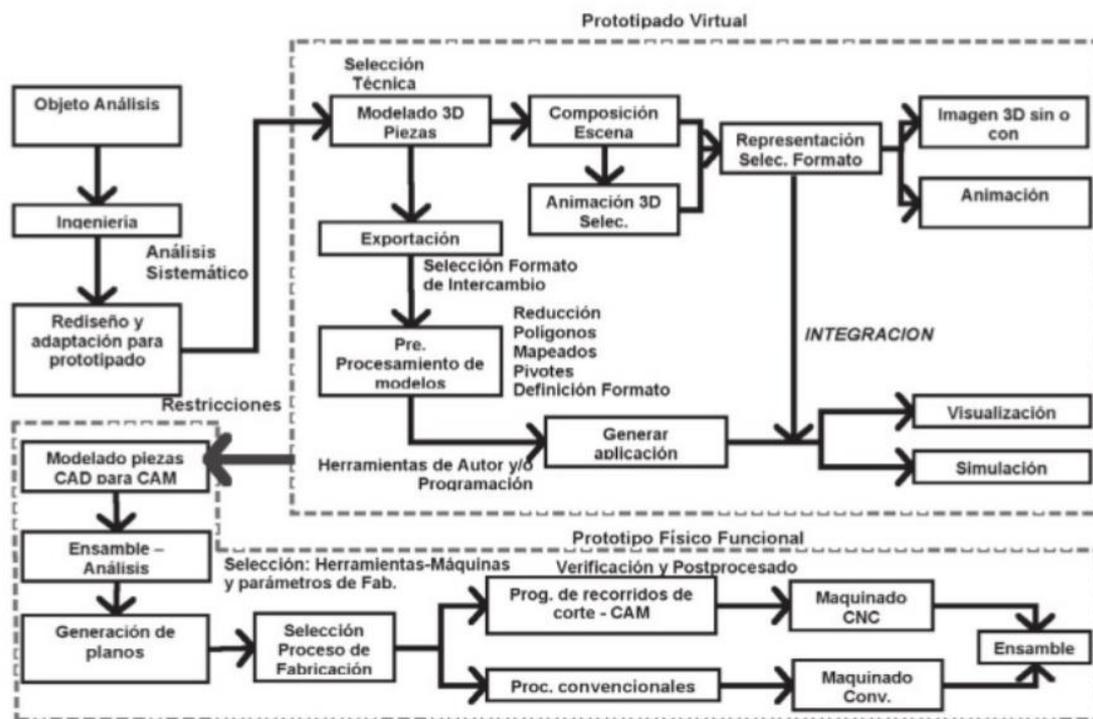


Figura 1. Modelo para asistir en el proceso de diseño y fabricación de productos a través del uso de prototipos virtuales propuesto en *Prototipado, simulación y realidad virtual*. Por Cardona, p. 30. Copyright 2007, Universidad Autónoma de Occidente.

Un estudio que tiene una analogía con el planteamiento de Cardona es el propuesto por Umar, Azizz, Binti Hasan y Abdullahi (2017). en su trabajo de investigación *Virtual reality as industrial Training tool for manufacturing technology: A review*, donde proponen el uso de la realidad virtual (VR) en el diseño, la creación rápida de prototipos y la fabricación digital, partiendo de la capacitación. Los autores analizan los beneficios de esta tecnología en la industria manufacturera y los desafíos de las aplicaciones de la realidad virtual, que permite a los ingenieros y diseñadores moverse e interactuar con los objetos en tiempo real.

La ingeniería virtual realista es una extensión del concepto de ingeniería virtual que reduce el tiempo y el costo de desarrollo del producto al combinar una serie de procesos de diseño, desarrollo y producción de productos con el uso de la realidad Virtual. (Choi, 2010, s. p.)

Choi en su investigación *PLM-based Integrated Framework for Realistic Virtual Engineering* plantea que al aplicarse tecnologías de ingeniería virtual realista al desarrollo de productos, estos requieren un entorno que proporcione colaboración basada en una ingeniería realista en un entorno distribuido, para lo que plantea un enfoque basado en la gestión del ciclo de vida del producto (PLM) aplicando ingeniería virtual realista en todo el proceso de desarrollo de nuevos productos, lo importante de la investigación de Choi es que plantea una metodología de aplicación de la realidad virtual en la manufactura virtual, esto servirá para contrastar con el modelo planteado por Cardona y permitirá mediante un análisis sustraer módulos y adaptar un nuevo modelo que sea aplicable a esta investigación.

En las investigaciones del tipo tecnológico o que tengan que ver con la innovación en tecnología es necesario conocer la historia de estas herramientas, de esta forma será un primer paso a la delimitación del problema de investigación, sobre realidad virtual (VR) existe mucha información sobre la historia pero las fechas varían de un estudio a otro, en el caso de la investigación propuesta se tomó como base lo planteado por Mejía (2012) que en su trabajo titulado *Realidad Virtual, estado del arte y análisis crítico*, Mejía narra de forma concreta sobre la historia de los sistemas de realidad virtual y sus componentes, toca temas como el hardware utilizado, los periféricos tanto de entrada y salida, que sirven para la interacción y cómo el software ha ido avanzando en este campo, finalmente realiza un análisis crítico sobre esta tecnología.

La realidad virtual (VR) también ha marcado un punto de inflexión en la comunicación, la relevancia en la presente investigación radica en los nexos que existen entre ingenieros-diseñadores y clientes, el proceso en el ciclo de vida de un producto, y cómo se está redefiniendo el proceso comunicativo y de retroalimentación, siendo esta la parte importante para la representación del producto, de esta forma va definiendo si el producto tendrá los resultados esperados. Al respecto existen muchos estudios sobre la realidad virtual y la comunicación, el más acertado para el presente trabajo es el que propone Rubio (2016) en su investigación titulada *Realidad Virtual (HMD) e interacción desde la perspectiva de la construcción narrativa y la comunicación: propuesta taxonómica*, donde estudia y explora sobre las nuevas posibilidades de la realidad virtual en el ámbito de la comunicación, hace una revisión exacta de la literatura científica y habla del surgimiento de áreas interdisciplinarias tales como el diseño de interacciones, la experiencia de usuario y

otras relevantes. Finalmente, en este punto se analiza el documento *Modelo estadístico y taxonomía de dispositivos para la evaluación del nivel de penetración de la realidad virtual (VR) en el desarrollo de aplicaciones* que es una memoria de la Octava conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informática y Cibernética (CICIC, 2018).

A pesar de que existen muchos conceptos sobre realidad virtual, el presente trabajo de investigación se fundamenta en la propuesta de Sherman que dice «un medio compuesto de simulaciones interactivas por computadora que detectan la posición y las acciones del participante y reemplazan o aumentan la retroalimentación a uno o más sentidos, dando la sensación de estar mentalmente inmerso o presente en la simulación» (Sherman y Craig, 2019, p. 16), a partir de este concepto se analiza información que contenga todos los aspectos que se consideran para las bases teóricas y establecer el análisis adecuado como son los elementos de la realidad virtual, la arquitectura y sus componentes básicos, siendo los trabajos más acertados el formulado por Maso (s. f.) en su investigación titulada *Introducción a la realidad virtual*. Otra investigación considerada adecuada para el análisis es la *Realidad Virtual, estado del arte y análisis crítico* realizado por Mejía (2012). Que es un trabajo documental y de investigación realizado con bibliografía diversa y repositorios científicos siendo una investigación del tipo exploratorio, pero de gran aporte teórico y recursos de búsqueda. Otro documento importante es el estudio que realizó el Instituto Tecnológico de Aragón (2018) en su obra *Estado del Arte: aplicación de nuevas tecnologías inmersivas para la innovación en la maquinaria de construcción, obras públicas y minería*, es un informe de investigación que realiza un estudio de la realidad virtual (VR) y su impacto en los sectores industriales en el proceso de

desarrollo de productos en un entorno real, desde la identificación de tecnologías inmersivas capaces de implementarse, hasta analizar la madurez de la tecnología de la realidad virtual y los costos que esto implica.

El núcleo central de la investigación es establecer que el uso de la realidad virtual (VR) en el diseño y manufactura traerá beneficios para la empresa; sobre el tema, las investigaciones se ramifican, toman como tema central la realización de aplicativos para los dispositivos, sin fundamentar la sistematización o método para un adecuado uso en empresas de manufactura, los antecedentes tomados para el estudio y análisis son, el realizado por Choi (2016). Titulado *Exploring User Interface Framework for Spatial Design in Virtual Reality* quien propone la implementación de un espacio virtual para diseñar espacios físico-arquitectónicos, para probar la validez de las hipótesis de investigación, plantea un prototipo que es sometido al análisis por una muestra en el que considera a personas especialistas y no especialistas en diseño, la investigación concluye que los diseñadores pueden utilizar la realidad virtual como herramienta de diseño multidisciplinario, ya sea para diseños de arquitectura o entornos 3D para videojuegos, o generar un entorno de visualización para que el cliente se acerque a sus diseños y le permita la toma de decisiones, tal como sugiere Chang (2017) en su tesis *Designing in Virtual Reality: tools with the human field of vision* aseverando que la realidad virtual tal como se está viendo hoy en día, se ha convertido en el siguiente medio común para la visualización digital. El propósito de la tesis de Chang (2017) es la manera de cómo un diseñador puede «utilizar la realidad virtual (VR) para explorar diseños con la representación inmersiva», planteándose la pregunta «¿Cómo afectarán las herramientas CAD y VR que realizan representaciones digitales y diseños en un espacio físico real?» (p. 3)

Un reto constante entre los diseñadores es crear modelos o productos dentro de restricciones específicas propuestas por los clientes, en este punto es necesario que trabajen en estrecha colaboración, de esta forma determinan sus necesidades y especificaciones correctas. Pero entre diseñador y cliente puede existir una barrera, los diseñadores suelen expresar los diseños de forma técnica, muchos clientes no dominan el campo técnico, Liu (2012) propone utilizar la realidad virtual para romper esta barrera en su tesis *Using virtual reality to improve design communication* utilizando una web y la realidad virtual para prueba de conceptos, permitiendo a los clientes explorar soluciones de diseño, esta web está equipada con funciones interactivas admitiendo que los usuarios puedan variar texturas y modelos de un catálogo en línea, esta investigación es interesante para análisis porque es sencilla y cuenta con una estructura metodológica para la aplicación de los diseñadores y con la que se puede contrastar el sistema que se planteó para la investigación.

Wallin (2017) en su tesis *The use of virtual reality to increase efficiency and profitability in different industries and functions*, propone una visión general de cómo se puede aplicar la realidad virtual en las distintas industrias para generar beneficios a la empresa, analiza las ventajas y desventajas de esta tecnología, los obstáculos que aún existe en los usuarios como los prejuicios y las expectativas poco realistas. Esta tesis explica de forma didáctica los efectos de la realidad virtual entre mercado-industria, factor importante en la presente tesis.

El estudio e investigación planteado se basa en implantar un método, un modo de gestión para aplicar de forma correcta el uso de la realidad virtual (VR) en el área del diseño como brazo extensor del CAD, para probar la validez de la investigación es importante realizar pruebas en una empresa real y con un personal real, pero no se

conoce -hasta que no se realicen las pruebas preliminares- cuánto conocimiento posee el personal sobre la realidad virtual (VR), es necesario en este caso que antes de poner a prueba se realice un entrenamiento al personal en realidad virtual (VR), como tal la enseñanza a adultos suele ser distinta a la enseñanza escolar, para esta parte de la investigación se analizan tesis que utilicen la realidad virtual (VR) en la educación, fundamentalmente en el área de diseño y manufactura y se selecciona como base la tesis realizada por Chiang (2012) titulada *Efectos y contribuciones del uso de simuladores sobre el perfil de egreso de alumnos de liceos técnico profesionales, del sector metal-mecánico*, Chiang trabaja una metodología en la que enseña a utilizar esta tecnología [realidad virtual] haciendo uso de la andragogía; como fundamento plantea una forma transparente de introducir a los estudiantes que nunca tuvieron un acercamiento a un entorno inmersivo y que construyan, a partir de su experiencia y con indicaciones de parte del tutor, experiencias virtuales.

Algunos investigadores sostienen que la mejor forma de introducir la realidad virtual (VR) en las personas en general son los videojuegos, esto motivó que se analice información sobre realidad virtual (VR) y videojuegos, uno de los estudios apropiados es el propuesto por Mineev (2017) en su tesis *The impact of immersive virtual reality on effectiveness of educational games*, donde trabaja varios aspectos en los que evalúa la efectividad de la realidad virtual (VR) en el aprendizaje, aprendizaje percibido, compromiso y motivación.

Como eje integrador era necesario analizar trabajos que tengan que ver con la innovación tecnológica, se seleccionaron, el de Coronado (2018) titulado *Planeamiento estratégico para las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) de Colombia*, la tesis de Santos (2017) titulada *Gestión de la innovación en una PYME*

peruana de base tecnológica: un caso de estudio y, también, Planeamiento estratégico para la industria peruana de la tecnología de información y comunicaciones (TIC) por Mayta (2017). Todos estos trabajos van a servir de soporte para un análisis sobre innovación y la introducción de una nueva tecnología en una empresa, si hay un tema complicado es la introducción de una nueva tecnología en el personal de cualquier empresa, las personas son seres de costumbres y les cuesta establecer un cambio.

2.2. Bases teóricas

En las bases teóricas se abordaron las principales definiciones, los conceptos básicos y las variables a saber; cada aspecto se acompaña de la finalidad, historia y las características fundamentales.

a. Realidad virtual

El uso de tecnologías emergentes para iniciar una transformación en la industria hace referencia a la industria 4.0, que compone la integración de instalaciones de producción, cadenas de suministro y sistemas de servicios para permitir el establecimiento de redes de valor agregado, esta integración se logra con el uso de las tecnologías digitales en la industria, una de estas tecnologías para la adaptación es la realidad virtual, que proporciona un entorno virtual integrador concurrente con el análisis, simulación y visualización en el ciclo de vida de un producto (PL).

La realidad virtual (VR) no es una tecnología actual, los primeros estudios para sentar las bases de la realidad virtual (VR) según Sherman y Craig (2019) «datan de 1435 cuando León Battista publica, por primera vez, las matemáticas de la representación de la perspectiva lineal [punto único]. Aunque es muy probable que

Brunelleschi resolviera las matemáticas de la perspectiva lineal para el experimento de perspectiva baptismal» (p. 28) pero este tratado nunca fue público.

La realidad virtual durante años fue evolucionando, aunque no se le conoció como tal hasta años después, en el 1788 el inglés Robert Barker patenta un «Aparato para exhibir imágenes» unas pinturas de 360 grados «el aparato es un edificio especial diseñado para albergar y exhibir estos panoramas». Hacia 1838 Sir Charles Wheatstone investigó la estereopsis e inventa el estereoscopio, un dispositivo que presenta una misma fotografía para cada ojo solo con un ligero desplazamiento de la imagen, este instrumento fue la base para los primeros visores de realidad virtual (VR).

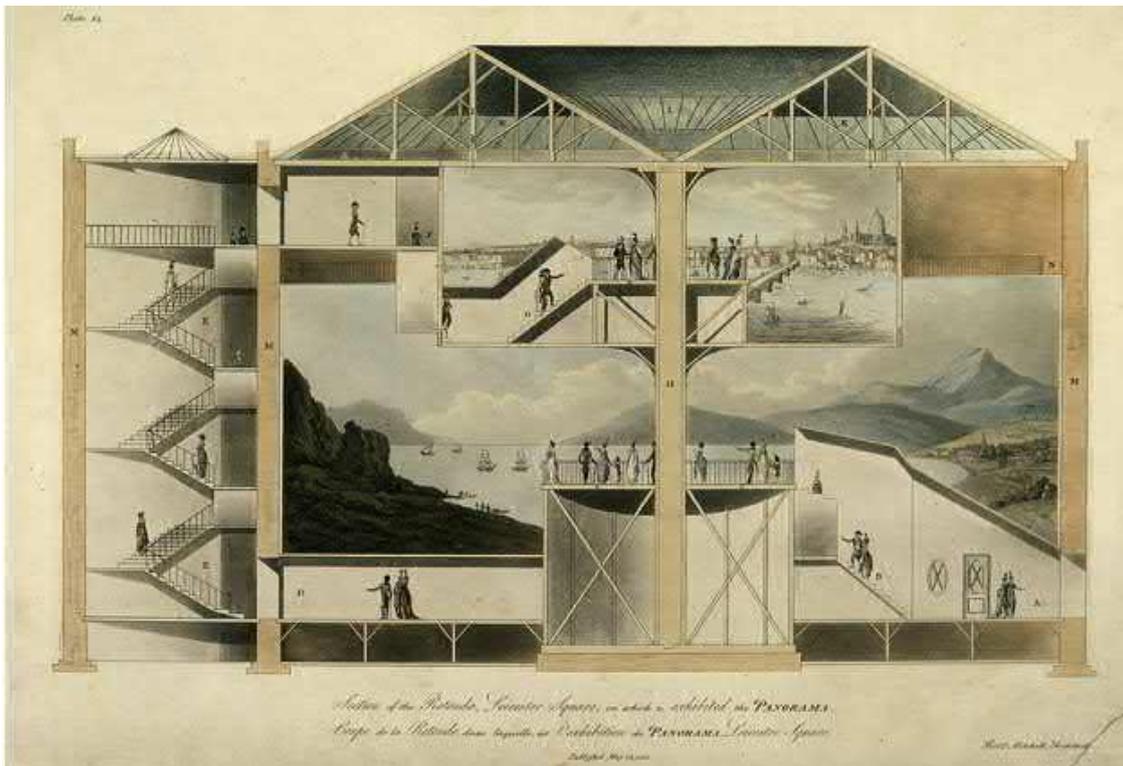


Figura 2. Una sección transversal del edificio de Londres donde Robert Barker exhibió sus pinturas panorámicas. Imagen de dominio público, tomada de Understanding Virtual Reality de Sherman y Craig, 2018.



Figura 3. La pintura panorámica *Edimburgo de la corona de St. Giles* (1972) atribuida a Robert Barker de (1739-1806) y Henry Aston Barker (1774-1856) imagen original utilizadas por Barker en su muestra 360° [City Art Center, Museos y galerías de la ciudad de Edimburgo]. Imagen de dominio público, tomada de *Understanding Virtual Reality* de Sherman y Craig, 2018.



Figura 4. Estereoscopio (2019). Recuperada de burgopedia1.wordpress.com

El primer prototipo de un casco de visionado es atribuido al que realizó Albert B. Pratt en 1914, un HMD [*Head-mounted display*] que fue patentado en 1916 con número 1.183.492, se describe como «arma adaptada para ser montada y disparada desde la cabeza del tirador» el tirador disparaba el arma activándolo por un tubo.



Figura 5. Primer HMD [a Periscope] patentado por Pratt (2019). Recuperada de weirduniverse.net.

En 1929 Edwin Link fabrica el primer simulador de vuelo mecánico. Link usó su conocimiento de bombas, válvulas y fuelles para crear un simulador de vuelo que respondiera a los controles del piloto y le diera una lectura precisa de los instrumentos incluidos en un avión real, este avión se usó para entrenar a los pilotos en una ubicación estacionaria.

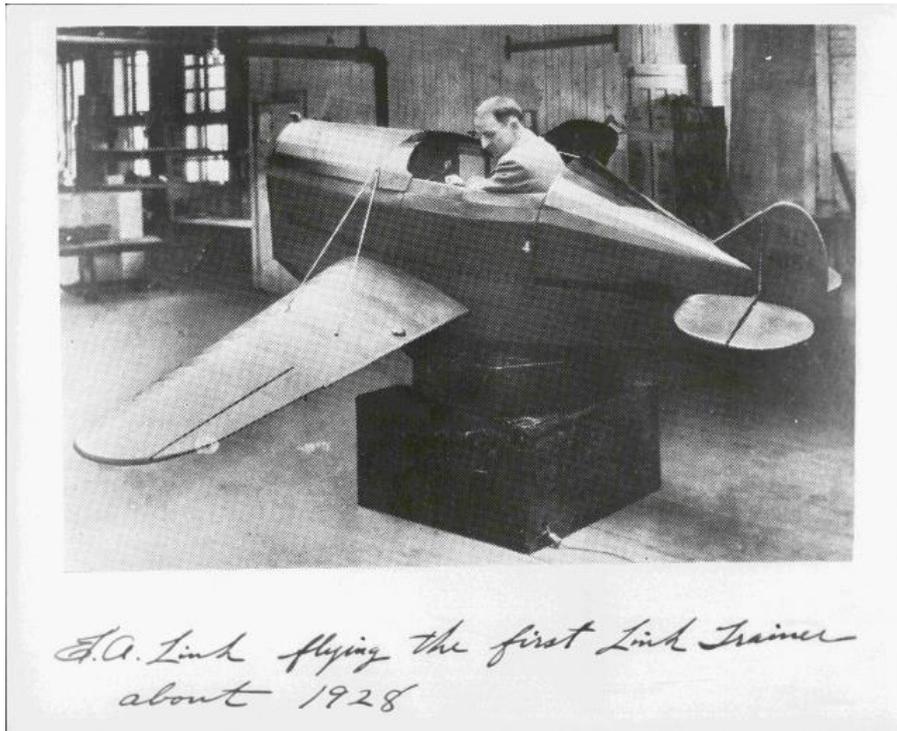


Figura 6. Fotografía de simulador de avión creado por Link en 1928. Recuperada de bookwormhistory.com

La primera mención de un sistema de realidad virtual (VR), se relata en la obra de Stanley Weinbaum llamada *Pygmalion Spectacles* de 1935, el autor menciona que el protagonista conoce a un inventor que ha desarrollado un sistema inmersivo en el que se puede ver películas y se puede interactuar de manera táctil u olfativa en un ambiente inmersivo y que el inventor publicita como una máquina que hace realidad sus sueños.

PYGMALION'S SPECTACLES

By **STANLEY G. WEINBAUM**

Author of "The Black Flame," "A Martian Odyssey," etc.

© 1933 by Continental Publications, Inc.

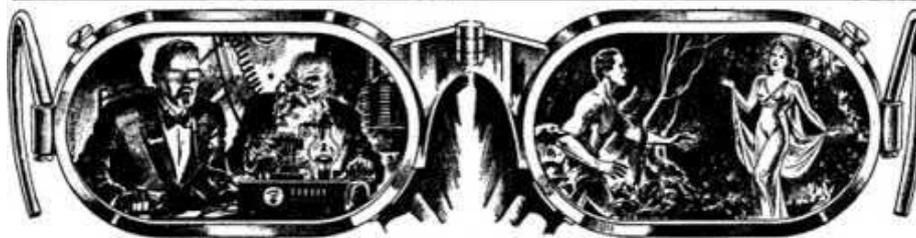


Figura 7. Pasta del cuento Pygmalion (2019). Recuperada de timetoast.com

Morton Heilig [conocido como el padre de la realidad virtual] en 1960 patenta un aparato de televisión estereoscópica para uso individual, muy similar a los HMD [*Head-mounted display*] a los presentados en 1990, el prototipo construido fue denominado Sensorama, mediante el cual un espectador podía visualizar 5 películas cortas y estimular los sentidos del oído, olfato y tacto.



Figura 8. Fotografía de persona usando el Sensorama. (2019). Tomada de *Understanding Virtual Reality* de Sherman y Craig, 2018.

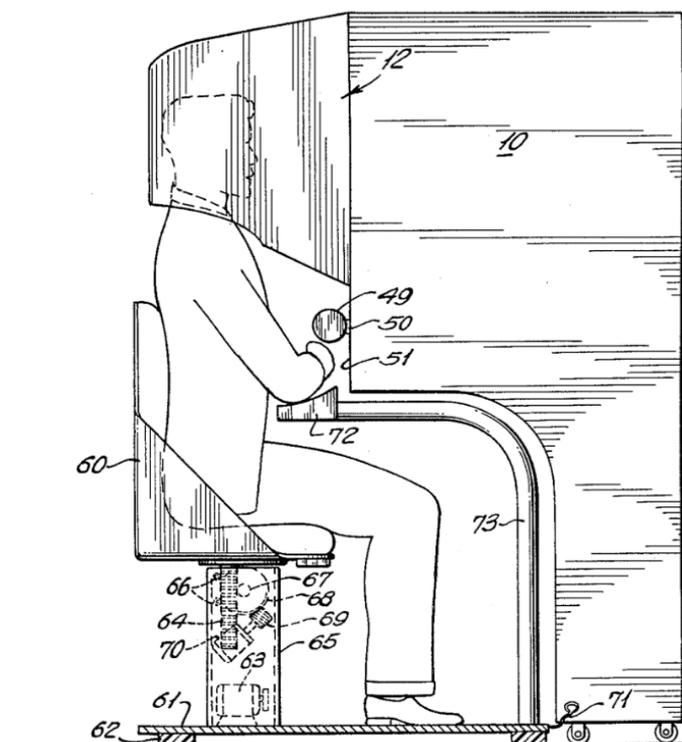


Figura 9. Figura de la patente del Sensorama Morton Heilig – Figure 5 of U.S. Patent #3050870 (2018). Recuperada de patft.uspto.gov.

«Su próximo invento fue conocido como la máscara teleférica, un artefacto que poseía características similares al Sensorama, solo se diferenciaba en que permitía una experiencia personal mediante sensaciones e imágenes en 3D, y que en algunos casos fueron a color». (Brockwell, 2016, web)

Ivan Sutherland [considerado el padre de los gráficos por ordenador] en el 1965 ante la *Internacional Federation for Information Processing Congress* presenta su artículo *The Ultimate Display*, en el que introduce conceptos sobre inmersión en un mundo simulado por computadora y explica la interacción que puede tener un usuario con objetos en un mundo que no se rigen por las leyes físicas de la realidad. «La descripción de la pantalla de Sutherland incluye estímulos cinestésicos [hápticos] y visuales» (Sherman y Craig, 2019, p. 34). Sutherland y Evans en el año 1968 desarrollan el primer prototipo de un visiocasco – *Head-hounted display* (HMD), al que llamaron «Espada de Damocles», este prototipo se conectaba a un computador, las gafas colgaban del techo y se calzaban a la cabeza del usuario, la computadora generaba imágenes de primitivas estructuradas cúbicas que eran visualizadas en los lentes que veía en el entorno real en el que se ubicaba, las imágenes también se desplazaban al moverse el usuario.

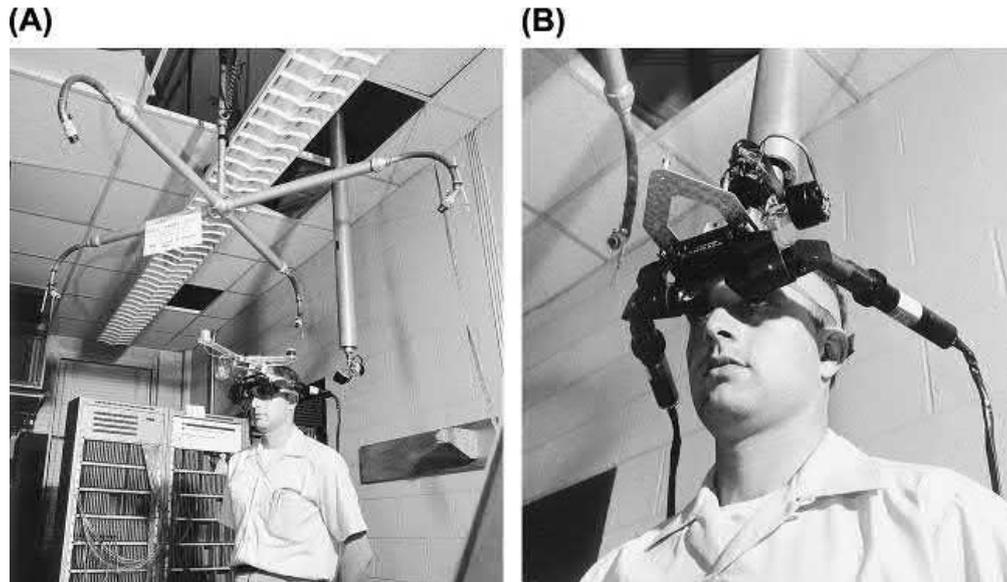


Figura 10. Ivan Sutherland creó una pantalla viable montada en la cabeza en 1968. La pantalla proporcionó imágenes visuales estereoscópicas, seguimiento mecánico y ultrasónico, y una demostración del potencial de la realidad virtual. (A) El mecanismo para el seguimiento ultrasónico coloca los emisores al final de cuatro tubos. (B) Quintin Foster usa el HMD conectado al techo a través de un enlace mecánico [conocido como The Sword of Damocles] utilizado para rastrear la posición del usuario. [Fotografías cortesía de Ivan Sutherland]. Tomada de *Understanding Virtual Reality* de Sherman y Craig, 2019.

El término realidad virtual (VR) fue introducido por Jaron Lanier en los años 80, Lanier es un escritor, informático y compositor de música clásica estadounidense quien a la edad de 13 años convenció a las autoridades de la Universidad Estatal de Nuevo México que le permitieran inscribirse para llevar algunos cursos, Lanier definió la realidad virtual (VR) como una tecnología que estimula los sentidos y causa la ilusión de presencia en espacios creados digitalmente. En 1982 se desarrolla el primer simulador de vuelo conocido con el nombre de VCASS [*visually coupled airborne systems simulator*] este simulador estaba basado en un pequeño tubo de televisión y

una óptica de imágenes, todo dentro de un casco que era usado por los pilotos para el entrenamiento de vuelo. En los mismos años el término ciberespacio es popularizado por William Gibson en su novela *Neuromante*, una novela adelantada para su tiempo, que anticipó el impacto del internet y la realidad virtual. Para 1984 la NASA inicia el proyecto virtual *Visual Environment Display VIVED*, tiempo más tarde con la experiencia adquirida en VIVED la NASA inicia otro proyecto ligado a la realidad virtual conocido con el nombre de *Virtual Interactive Environment Workstation – VIEW*, este proyecto incluía un laboratorio a cargo de Scott Fisher, cuyo objetivo parte de realizar investigaciones en el ámbito de la interacción hombre-máquina. Por otro lado, la NASA comienza a financiar a varias compañías tales como *VPL*, *LEEP System, Inc.*, *Fakespace, Inc.* y *Crystal River Engineering*, para trabajar conjuntamente en proyectos de investigaciones y desarrollo en sistemas de realidad virtual VR.

En 1985 Jaron Lanier juntamente con Thomas Zimmerman crean la compañía *VPL Research [Virtual Programming Languages] Inc.*, con el objetivo de masificar los dispositivos de realidad virtual (VR), recibiendo fondos anticipados del laboratorio NASA VIEW, dentro de los dispositivos creados están el *Data Glove* que eran unos guantes con sensores capaces de reconocer el movimiento y posición de los dedos en la pantalla del computador, de esta forma podía interactuar con algunos elementos, *Eye Phone* pantalla montada en un casco para la visualización de simulaciones y, *Data Suite* un traje con sensores de movimiento en el cuerpo incluyendo pierna y brazos, la empresa prosperó por varios años, pero fue declarada en bancarrota en 1990; después de 9 años, en 1999, *Sun Microsystems* compra todas las patentes de VPL de realidad virtual y las relacionadas con gráficos por computadora.



Figura 11. Usuario experimentando e interactuando con un mundo virtual utilizando los VPL Eyephones y Datagloves. [Imagen cortesía de NCSA] (2018). Recuperada de nca.illinois.edu.



Figura 12. Imagen de Traje VPL con sensores de movimiento en piernas y brazos (2018). Recuperada de nca.illinois.edu.

La década de los 90 se caracterizó por la proliferación de la tecnología de la realidad virtual, gracias al avance tecnológico y la rapidez y potencia del procesamiento ofrecida por los computadores. Las compañías dedicadas a esta tecnología centraron sus esfuerzos en el mercado de la investigación y el entretenimiento, compañías como *Virtuality*, *Division*, *Fakespace*, son claros ejemplos, empresas de entretenimiento como *Sega*, *Disney*, empresas manufactureras como *General Motors*, así como también varias universidades y centros militares, comenzaron a experimentar con la tecnología de la realidad virtual (VR), desarrollando herramientas y aplicativos de soporte para la realidad virtual como *QuickTime VR*, *VRML*, *X3D*, *Cult-3D*, y *Active Worlds*.

Jerald (2016) afirma:

En 1993, la revista *Wired* predijo que en cinco años más de una de cada diez personas usaría HMD mientras viajaba en autobuses, trenes y aviones. En 1995, el *New York Times* informó que el Director Gerente de *Virtuality* Jonathan Waldern predijo que el mercado de realidad virtual alcanzaría los \$ 4 mil millones en 1998. (p. 26)

Parecía que la realidad virtual estaba a punto de cambiar el mundo y no había nada que pudiera detenerlo, pero en 1996, la industria de la realidad virtual alcanzó su punto máximo y luego comenzó a contraerse lentamente, la mayoría de las empresas dedicadas al desarrollo de productos en base a la realidad virtual cerraron, algunas vendieron sus patentes y otras simplemente quebraron, incluida *Virtuality*, que cerró sus operaciones en 1998.

El nuevo siglo trajo nuevas investigaciones en la realidad virtual, pero circunscritas a laboratorios especializados, universidades, instituciones gubernamentales y pocas empresas privadas [solventadas por instituciones militares]. En esta etapa los medios convencionales no le prestaron mucha atención, esto llevó a que muchos proyectos de amplia investigación no fueran tomados en cuenta, menos aún financiados para el desarrollo por la empresa privada, esto se mantuvo por varios años. Como algunos avances significativos en esta década se puede mencionar el aporte realizado por *Mechdyne Corporation* en el 2000, que instaló la primera CAVE [*Cave Assisted Virtual Environment*] de seis lados en el *Virtual Reality Applications Center (VRAC)* de la universidad de Iowa, en el año 2002 se realizan investigaciones en cinematografía 3D, e IMAX 3D estrena su documental *Space Station* siendo la primera producción filmada en el espacio y en 3D con tecnología estereoscópica, a partir de esta película se comienza a masificar el cine 3D y la empresa *Dolby Laboratories* licencia la tecnología *Infitec* para el cine estereoscópico *Dolby 3D*.

El 2005 es una fecha importante ya que en la conferencia mundial de desarrolladores de *Apple* se lanza el motor de videojuegos *Unity* exclusivo para la plataforma MAC. *Unity* es un *engine* o motor para la creación y desarrollo de videojuegos, una plataforma que también se utiliza para crear experiencias interactivas, hoy en día funciona y permite el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual para diversos OS como *Windows*, *Mac*, *Linux* y para consolas de videojuegos *Xbox 360*, *Playstation 3* y *Vita*, *Wii*, *Wii U*, *iPad*, *Android*, *iPhone*, entre otros. Es una de las plataformas más utilizadas en la creación de contenidos interactivos e inmersivos, incluso utilizadas por inexpertos en programación.

El 2012, Palmer Luckey, gracias a una campaña realizada en el centro de aceleramiento de proyectos *Kickstarter* crea el primer casco HDM [*Head-mounted display*] de bajo costo conocido con el nombre de *Oculus Rift*, este dispositivo marca el inicio de la nueva era de la realidad virtual y el crecimiento exponencial. «El año 2014 la empresa y el dispositivo es adquirida por Facebook por un valor de \$ 2 mil billones de dólares» (Jerald, 2016, p. 27)



Figura 13. Oculus Rift dk-2 (2018). Recuperada de tecnogeek.com

En marzo del 2014 Sony anuncia el proyecto *Morpheus*, un casco de realidad virtual para su consola de videojuego *PlayStation 4*. Por la misma época *Google* anuncia su proyecto *Cardboard*, en el que el usuario puede construir un sistema de realidad virtual sobre la base de cartón plegable para ser utilizado con su smartphone.



Figura 14. Google Cardboard (2018). Recuperada de aVRr.google.com

Ese mismo año 2014 Samsung realiza una alianza con *Oculus VR* para lanzar los *Samsung Gear VR* bajo el mismo concepto de los *Google cardboard*, sin embargo, en este caso, «hay una tecnología de seguimiento adicional integrada en el estuche, junto con botones y un pequeño panel táctil para la entrada. La carcasa es una unidad de carcasa rígida moldeada, diseñada específicamente para el teléfono *Samsung Snapdragon Galaxy Note 4*» (Sherman y Craig, 2019, p. 56).

El 21 de enero del 2015 Microsoft, en conferencia de prensa, anuncia su dispositivo de realidad mixta los *HoloLens* y lanza su kit de desarrollo para organizaciones de exploración e investigación, hoy en día los *HoloLens* se están utilizando en áreas como la educación, industria, manufactura, arquitectura y otras, el año 2019 se lanzó una nueva versión, los *HoloLens 2.0*.



Figura 15. HoloLens 2.0 (2019). Recuperada de microsoft.com

En la actualidad la realidad virtual se está aplicando en todas las áreas, siendo accesible a un mayor número de personas por la disminución de los costos y la miniaturización de la tecnología, los laboratorios y grandes empresas como *Samsung, Google, HTC, Microsoft, Sony, HTC, Apple* y otras están realizando investigaciones y realizando dispositivos con nuevas experiencias sensoriales.

b. Definición

Mientras la realidad virtual (VR) se va convirtiendo en una tecnología madura aparecen múltiples definiciones y con variadas ramificaciones según el área de estudio, investigación o usos que se le dé. Muchas de estas definiciones combinan de manera inadecuada el propósito de la realidad virtual (VR), sus funciones, aplicaciones o las técnicas en las que se basa.

Otras definiciones tratan el carácter oxímoron de la expresión de realidad virtual (VR) que fue introducido por Jaron Lanier en los años 80 y llevó a una discusión filosófica y psicológica, las que fueron tomadas por Brudniy y Demilhava en su trabajo titulado *The Virtual Reality in a Context of the Mirror Stage*, para definir la realidad

virtual (VR) a partir de la combinación de tres perspectivas que son: una perspectiva filosófica, psicológica y técnica.

El enfoque de la presente investigación hace necesario delimitar las definiciones de la realidad virtual (VR) para que se acerquen al tema motivo del proyecto planteado, obteniendo algunas aproximaciones de autores e investigadores importantes en el estudio de la realidad virtual. Como definición general se utiliza lo planteado en el diccionario de Oxford que define lo virtual como existencia no física y un software hace que parezca real. (diccionario Oxford, 2018, web), queda establecido implícitamente para que un software funcione es necesario un hardware, a partir de esta premisa el diccionario Oxford concluye que la realidad virtual es una «simulación generada por computadora de una imagen o entorno tridimensional con el que una persona puede interactuar de manera aparentemente real o física utilizando un equipo electrónico especial, como un casco con una pantalla interna o guantes equipados con sensores» (diccionario Oxford, 2018, web).

Para que exista una experiencia de realidad virtual, Sherman y Craig plantean la confluencia de cinco elementos clave, «el usuario de la experiencia, el creador de la experiencia, el mundo virtual, la inmersión y la interactividad» (Sherman y Craig, 2019, p. 6). Los elementos usuario y creador se centran en que la realidad virtual (VR) es un medio de comunicación, siendo el usuario el elemento fundamental ya que la experiencia ocurre en su mente y «cada experiencia de realidad virtual es diferente para cada uno de ellos, porque cada uno trae sus propias capacidades, interpretaciones / antecedentes / historia y, por lo tanto, experimenta el mundo virtual a su propia manera» (Sherman y Craig, 2019, p. 6). El segundo elemento de la experiencia de realidad virtual es el equipo o persona que crea la experiencia,

«pensando en ellos como "creadores", "compositores" o "desarrolladores" de la obra» (Sherman y Craig, 2019, p. 7). el mundo virtual es el tercer elemento y el que comienza su existencia en la mente del creador, este puede existir sin que se muestre en un sistema de realidad virtual y es considerado como un «espacio imaginario que a menudo se manifiesta a través de un medio. Una descripción de una colección de objetos en un espacio, con reglas y relaciones que gobiernan esos objetos» (Sherman y Craig, 2019, p. 8). Entiéndase que mundo virtual se puede usar para describir la distribución de otros medios como las películas, novelas, juegos y otros elementos comunicacionales.

El cuarto elemento es la inmersión, la percepción de estar presente en un entorno e interacción con ese entorno, «estar inmerso generalmente se refiere a un estado emocional o mental, un sentimiento de estar involucrado en la experiencia» (Sherman y Craig, 2019, p. 9). Dentro de la inmersión Sherman y Craig considera una inmersión física, es decir, cuando los sentidos del cuerpo son estimulados mediante el uso de tecnología y una inmersión mental o presencia psicológica, cuando el usuario está profundamente comprometido con la experiencia en un estado de suspensión de la incredulidad, aislado del mundo real que pudiera ser de una semiinmersión hasta una inmersión total. Sánchez-Vives y Slater (2005), «descubren que la presencia implica tener una sensación de estar dentro del entorno virtual, en lugar de donde el cuerpo del usuario se encuentra físicamente» (p. 333) para que esto suceda, el usuario utilizará diversos sistemas tecnológicos que se describirán en capítulos posteriores.

El quinto elemento para una experiencia de la realidad virtual, según Sherman y Craig, es la interactividad, el equipo tecnológico debe responder a las acciones del usuario, estableciendo una Comunicación Interactiva, «la interactividad requiere la

posibilidad de diálogo con las máquinas. No es solo elección entre una cosa y otra, sino intercambio, es decir, recibir y aportar». (Cebrián Herreros, 2005, pp. 9-12). Jerald (2016) define la interactividad como: «la comunicación que ocurre entre un usuario y la aplicación de realidad virtual que está mediada por el uso de dispositivos de entrada y salida [...] cuando los usuarios interactúan en la realidad virtual, deben descubrir cómo funciona el sistema» (p. 278).

Al conectar los cinco elementos propuestos por Sherman y Craig definen la realidad virtual (VR) como: «un medio compuesto de simulaciones interactivas por computadora que detectan la posición y las acciones del participante y reemplazan o aumentan la retroalimentación a uno o más sentidos, dando la sensación de estar mentalmente inmerso o presente en la simulación [un mundo virtual]» (Sherman y Craig, 2019, p. 16).

Párrafos arriba se menciona a Brudniy y Demilhanova que plantean la definición de la realidad virtual a partir de la combinación de tres perspectivas; la perspectiva filosófica, que es un área posible con la que el sujeto interactúa; con la perspectiva psicológica, como una modificación artificial de la realidad y cómo el usuario se comporta ante esta modificación; finalmente, la perspectiva técnica relacionada con el uso de las tecnologías informáticas y cómo se produce la interacción en el mundo virtual, al interactuar estas perspectivas definen la realidad virtual como: la forma más avanzada de relación entre una persona y un sistema informático, dicha relación permite una interacción directa entre el usuario y el ambiente generado artificialmente, ambiente que está destinado a estimular alguno o todos los sentidos humanos, caracterizándose principalmente por crear una ilusión a nivel cerebral de participación directa en dicho ambiente (Brudniy y Demilhanova ,2012, p. 6).

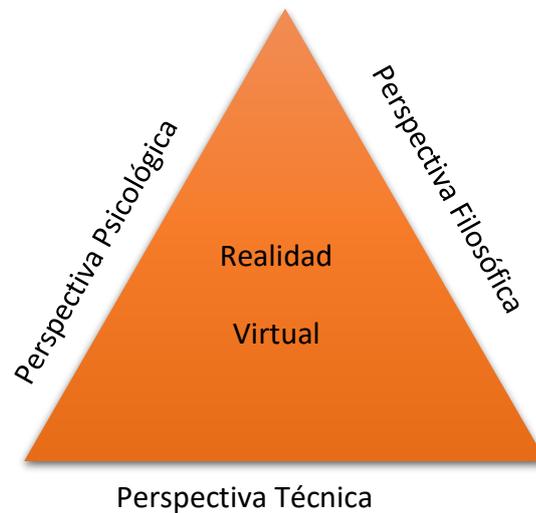


Figura 16. El constructo de la realidad virtual que contempla las tres perspectivas propuesto por Brudniy y Demilhanova, (2012). Tomada de The Virtual Reality in a Context of the «Mirror Stage»

Al realizar la comparativa entre la definición de Sherman y Craig con la planteada por Brudniy y Demilhanova se valora que estas guardan concordancia y coinciden que la inmersión, navegación e interacción son características claves de un sistema de realidad virtual (VR).

Por otro lado Philippe Funchs experto en realidad virtual y profesor del *École Mines Paris Tech*, realiza un análisis para definir la realidad virtual a partir de separar en definiciones particulares y determina como punto de partida, analizar el propósito de la realidad virtual y como consecuencia dice: «el propósito de la realidad virtual es hacer posible una actividad sensoriomotora y cognitiva para una persona [o personas] en un mundo artificial creado digitalmente, que puede ser imaginario, simbólico o una simulación de ciertos aspectos del mundo real» (Fuchs, 2017, p. 9).

A partir de establecer el propósito, Funchs divide la realidad virtual (VR) en dos definiciones: una definición funcional que dice que la realidad virtual (VR) quiebra la realidad física para «cambiar virtualmente el tiempo, el lugar o el tiempo de

interacción» (Fuchs, 2017, p. 10). Un mundo virtual que simula un entorno real que también puede ser imaginario en el que el usuario ejerce una acción.

La segunda definición de Funchs es técnica y establece que la realidad virtual (VR) «es un dominio científico y técnico que utiliza la informática y las interfaces de comportamiento de las entidades 3D, que interactúan en tiempo real entre sí y con uno o más usuarios en inmersión pseudonatural a través de canales sensoriomotores» (Fuchs, 2017, p. 10).

Funch coincide con los estudiosos antes mencionados en cuanto a que la realidad virtual (VR) debe de ser una experiencia inmersiva, en el que el usuario interactúa y que el sistema responda a sus acciones estableciendo una comunicación interactiva, y que esté contenido en un mundo virtual, pero esta experiencia se debe potenciar con el uso y la combinación de diversas tecnologías que resalten el sentido visual, los sentidos hápticos, auditivos y con menos frecuencia los sentidos vestibular, olfativo y gustativo [no todos en la misma experiencia] es decir estímulos sintéticos; además, se considera el uso de dispositivos de seguimiento, posicionamiento, un hardware con gráficos que contribuyan a la experiencia y un software que complemente el sistema, todo esto para que el usuario se desenvuelva en un entorno generado conocido como entorno virtual.

c. Realidad virtual, realidad aumentada, telepresencia, ciberespacio y realidad mixta

Algunos términos que son asociados directamente a la realidad virtual ya sea por el uso tecnológico o definiciones parecidas pueden llevar a confusión, en este ítem se aclara estas expresiones estrechamente relacionadas, sus similitudes y diferencias.

La realidad virtual (VR), realidad aumentada (AR), realidad mixta (MR) y telepresencia, son medios considerados medios físicamente inmersivos, la realidad virtual se produce en un entorno virtual en el que él usuario interactúa, la realidad aumentada mezcla o combina el mundo real-físico con información generada por computadora, la realidad mixta (MR) integra contenido generado en una computadora con el mundo real permitiendo una inmersión e interactúa con la visión del mundo real, o puede tomar objetos del mundo real y conectarlos en un entorno totalmente digital, de esta manera, la realidad mixta (MR) a veces puede funcionar de manera similar a realidad virtual (VR) y a veces funciona de manera similar a la realidad aumentada (AR). En la telepresencia el usuario interactúa en un entorno real, pero remoto [distancia].

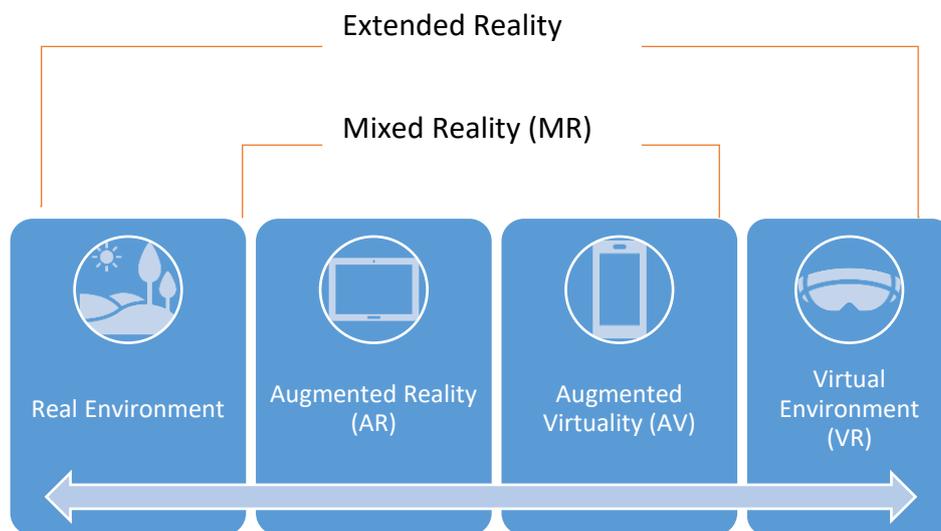


Figura 17. Continuidad de la Realidad Virtual - virtuality continuum – elaboración basada en la propuesta de Paul Milgram’s. (1994).

En el caso de ciberespacio existe mucha discusión acerca de si se puede considerar equivalente a la realidad virtual, según las definiciones expuestas en el ciberespacio no existe una sustitución sensorial directa con el usuario y la interacción puede ser entre varias personas aunque la realidad virtual y ciberespacio están mediados por la

tecnología, el ciberespacio no es un medio *per se* si no una característica de varios medios diferentes, siendo sus características principales que debe existir en un mundo virtual, múltiples participantes, interactividad e inmersión mental.

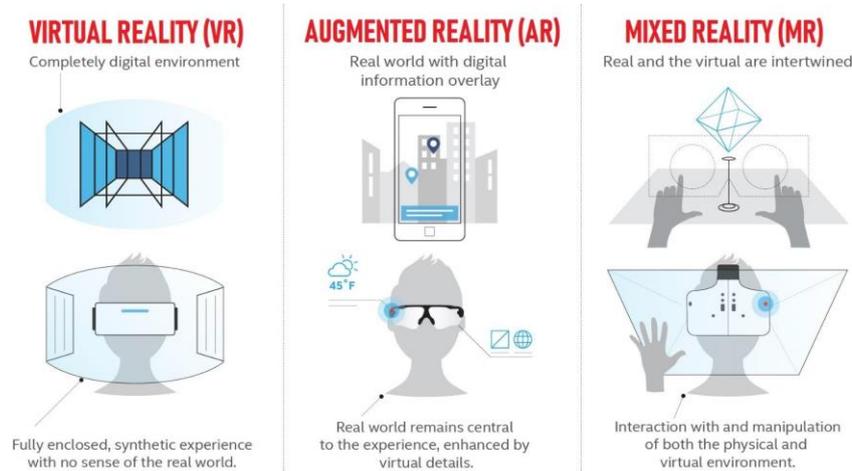


Figura 18. Diferencias entre VR, RA y RM (2018) Recuperado de Extended reality - brief determining needs, expectations and the future of XR for the ICRC de A study commissioned by the ICRC Innovation Board.

e. Mundo Virtual y Entorno Virtual

Mundo virtual y entorno virtual guardan una estrecha relación con la realidad virtual (VR) aunque el término entorno virtual y mundo virtual se usan a menudo como sinónimo de realidad virtual, sin embargo, «el uso del término de entorno virtual es anterior a la expresión realidad virtual, el termino puede resultar confuso porque puede referirse a mundo virtual o a un mundo representado en una configuración de tecnología de VR» (Sherman y Craig, 2016, p. 21). En realidad, el entorno virtual adopta ambas expresiones y requiere la combinación de varias tecnologías, para generar ilusiones en un mundo virtual o mundos virtuales con cierto nivel de presencia y al mismo tiempo potenciar la inmersión sin ser un factor importante, es decir se hace necesario recrear un espacio tridimensional con el uso de un computador, el espacio puede ser real o imaginario, pero es necesaria la interacción de o los usuarios.

Cardona (2007) afirma que la característica de un entorno virtual es «la utilización de gráficos tridimensionales y un modelo de entorno que representa algún tipo de vida real o un lugar de estructura artificial» (p. 16). Los entornos virtuales pueden ser de múltiples formas y la «gama de posibilidades de aplicación es grande, entonces, es necesario agrupar a los entornos virtuales de acuerdo con su uso, forma o medio de acceso [...] además de combinarlos dependiendo del marco de aplicaciones en donde se requiera su convergencia» (Cardona, 2007, p. 16).

Por lo tanto, para generar un entorno virtual para un sistema de realidad virtual se debe tener en consideración todos los aspectos y características necesarias sobre la base del proyecto y que permite integrar normas que soporten a cada uno de los tipos de entornos virtuales, facilitando la comunicación y transferencia de conocimiento entre el equipo de desarrollo y más adelante con el usuario.

Entorno virtual: una instancia de un mundo virtual presentada en un medio interactivo como la realidad virtual.

Mundo virtual: los contenidos de algún medio; un espacio que existe en la mente de su creador, a menudo manifestado en algún medio; una descripción de una colección de objetos virtuales en un espacio, y las reglas y relaciones que rigen esos objetos.

f. *Taxonomía del sistema de realidad virtual*

Jerry Islade en su trabajo de investigación *What is virtual reality?* Hace una clasificación de los sistemas de realidad virtual (VR) a partir de la interacción con el usuario y define cinco categorías.

Realidad virtual de escritorio [Desktop systems or Window on a World, WoW]

Son sistemas de realidad virtual no inmersivos, utilizan un monitor para visualizar el mundo virtual o se proyecta en otra superficie, no se requiere un periférico especial salvo los comunes conocido antes como equipo multimedia, que constan de un teclado, un *mouse*, un *joystick*, un equipo de sonido y en algunos casos un sistema 3Dconexión; el WoW es el tipo más común de sistema de realidad virtual, la gráfica que se muestra en el monitor es muy parecida a la realidad y, la interacción con las geometrías es un proceso simple y real.

Sistema de mapeo por video [Video Mapping]

Es una variante del WoW conocido también como realidad proyectada, se fundamenta en la grabación mediante cámaras de video a un usuario o varios, luego estas grabaciones son incorporadas a la pantalla del computador como imágenes o gráficos, finalmente el usuario o los usuarios se observan en un monitor en el que podrán interactuar en tiempo real.

Sistemas inmersivos

Es el sistema que permite al usuario tener una experiencia inmersiva y sentirse sumergido al interior del mundo virtual, estos sistemas de realidad virtual por lo general son equipados con tecnología HMD o *Head-mounted display* [casco visor de VR] para el despliegue tanto visual como auditivo, es de uso personal, en otros casos se utilizan habitaciones con pantallas para múltiples usuarios y en otros casos se usan cabinas de simulación.

Este tipo de sistema de VR considera 4 modalidades diferentes: El operador aislado, la cabina personal [cabina de simulación], la cabina colectiva [*pods, group cab*] y *cave* [caverna o cueva de VR].

El casco visor (HMD) es un equipo que cuenta con dos pantallas coordinadas que producen una visión estereoscópica y cuenta con efectos tridimensionales y acústicos, de tal forma que el usuario experimenta la sensación de inmersión e interactividad mediante dispositivos hápticos.

Una variante a la utilización del HMD es mediante la utilización de un visor incorporado en una cabina o una armadura de pluma [parecido al periscopio de un submarino] que le permite al usuario controlar la orientación del dispositivo y movilizar según a conveniencia.

La cabina colectiva se basa en la recreación del interior de la máquina que se quiere simular, un ejemplo concreto es la cabina de simulación de avión para vuelo, se utiliza para el entrenamiento de pilotos de vuelo, las ventanas son reemplazadas por pantallas de alta resolución que permiten simular un entorno real además de contar con sonido que ayuda a que la experiencia sea lo más realista posible, el equipo o máquina de simulación está sobre ejes que son fijos o movibles, el software que utiliza está diseñado para crear respuestas en tiempo real a los estímulos que el usuario envía mediante los controles dentro de la cabina, este tipo de sistema se suele utilizar en el entrenamiento.

El *Cave* es un sistema inmersivo que utiliza varias pantallas de proyección de gran tamaño dispuestas ortogonalmente de tal forma que crean una cueva o caverna, en el que el usuario o los usuarios observan el mundo virtual, uno de los usuarios asume la

tarea de navegación y los demás usuarios pasan a ser sujetos pasivos y solo son observadores de la experiencia.

Telepresencia

Es un término acuñado por Marvin Minsky que significa presencia remota, proporciona al usuario la sensación de estar físicamente en otro lugar al combinar sensores remotos en el mundo real con los sentidos de un usuario, de esta forma puede operar equipos a distancia, los sensores pueden estar instalados en un robot o en herramientas a manipular. La telepresencia difiere de la realidad virtual al representar el mundo físico en lugar de representar un mundo que es completamente generado por computadora.

Sherman y Craig definen la telepresencia como: la capacidad de interactuar directamente [a menudo a través de la mediación por computadora] con un entorno remoto físicamente real experimentado desde el POV en primera persona; sin restricciones en la ubicación o el tamaño del dispositivo utilizado para ejecutar los comandos del usuario en la ubicación remota. (Sherman y Craig, 2019, p. 21)

Realidad mixta

La realidad mixta también conocida como simulación ininterrumpida o realidad híbrida, se consigue al fusionar los sistemas de telepresencia y realidad virtual (VR), Cardona sobre la realidad mixta dice: «aquí las entradas generadas por computadora se mezclan con entradas de telepresencia o la vista de los usuarios que tienen del mundo real» (Cardona, 2007, p.18).

Otra definición de realidad mixta es la planteada por Paul Milgram y Fumio Kishino en 1994, al respecto dice que es cualquier espacio entre los extremos del continuo de la virtualidad, puede extenderse desde un mundo completamente real hasta un entorno completamente virtual, la realidad mixta puede funcionar de manera similar a la realidad virtual (VR) y a veces de manera similar a la realidad aumentada (AR), los objetos del mundo digital ya no son objetos pasivos en el mundo real, actúan como si fueran parte de él, cobrando existencia y con el que se interactúa.

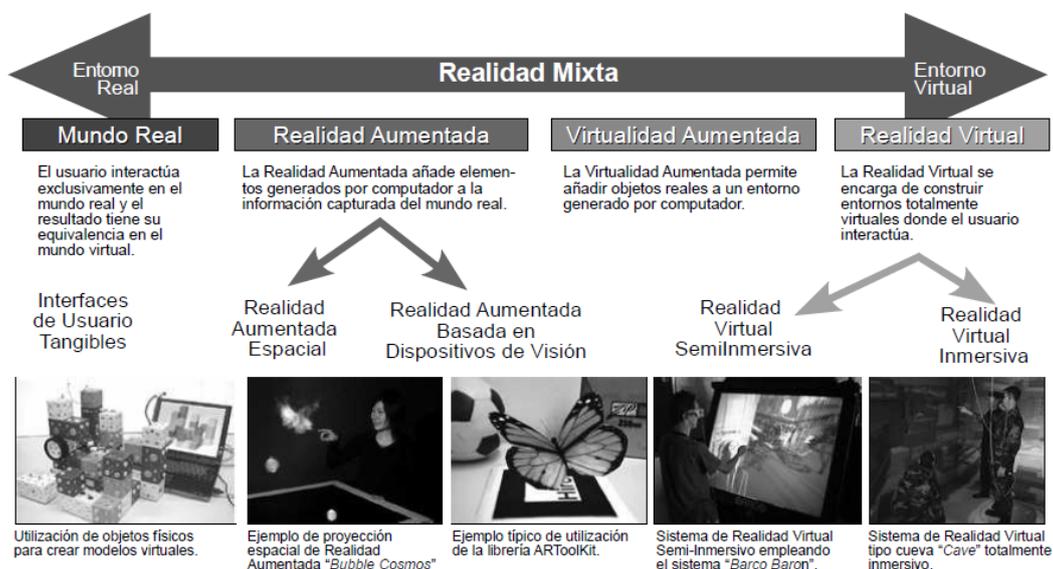


Figura 19. Relación de la realidad mixta con la realidad virtual y realidad aumentada (2018). Diagrama propuesto por Morcillo, C. basada en la Taxonomía de VR propuesto por Milgram y Kishino.

Bolzoni en su artículo titulado *Eliciting a context for rules of interaction: a taxonomy of metaphors for human-objects communication in virtual and synthetic environments*, plantea una clasificación del sistema de realidad virtual de acuerdo con el modo de presentación visual:

- **Medios inmersivos.** Implican la utilización de un casco de visualización del mundo virtual [*Head-mounted display* -HMD] este entorno no contiene datos de la realidad física.
- **Medios de sobremesa.** Involucra el uso de una pantalla conectada a un hardware, permitiendo que el usuario interactúe por medio periféricos convencionales manteniendo conciencia de la realidad física.
- **Medios proyectados.** Se utilizan espacios grandes en el que se proyecta el entorno virtual, por ejemplo, un domo virtual o un *cave*.
- **Medios aumentados.** Objetos digitales que son descubiertos en el mundo real, con la utilización de un dispositivo tecnológico.

Tabla 1
CPU [Unidad central de procesamiento] y periféricos I/O mínimos

	CPU/	Input	Output
Medios inmersivos	PC compatible con dispositivos para VR, dispositivos móviles.	Sensores de posición	Cascos de realidad virtual HMD.
Medios de sobremesa	PC de sobremesa	Teclado, mouse, joystick, controlador 3D.	Monitor de alta definición, gafas para estereolitografía.
Medios proyectados	PC compatibles	Teclado, mouse, joystick, controlador 3D.	Proyector de alta resolución
Medios aumentados	Dispositivos móviles, tablets y pantallas móviles	Dispositivos móviles, tablets y pantallas móviles.	Dispositivos móviles, tablets y pantallas móviles

Nota. Realizada en base a la clasificación de Bolzoni

Investigadores como Funch (2017), clasifica la realidad virtual según el grado de inmersión física y lo divide en:

- **Inmersión visual.** Este tipo de inmersión utiliza gafas de realidad virtual [*Cardboard*], el usuario solo observa el ambiente virtual o el producto 3D, la interacción se da por el movimiento de la cabeza, un ejemplo son las imágenes o videos 360°, también para este tipo de inmersión se hace uso de pantallas grandes

de alta resolución y se suele usar en la revisión de proyectos industriales o revisión de proyectos de arquitectura.

- **Inmersión semifísica.** En este tipo de inmersión se usan gafas de realidad virtual – *Head-mounted display* (HDM) y se complementa con tecnología háptica, con el que se puede interactuar con objetos digitales en el mundo virtual, este tipo de inmersión también es posible mediante una pantalla en el que se sitúa al usuario al frente y se digitaliza las manos en tiempo real, se rastrean y de esta forma se podrá interactuar con objetos digitales en el mundo virtual.
- **Inmersión física completa.** En este tipo de inmersión se usan cascos de realidad virtual para crear la sensación de presencia e inmersión, el cuerpo del usuario está representado visualmente en su totalidad y hace uso de todo su cuerpo físico, este tipo de inmersión requiere el uso de tecnología que siga tanto los movimientos de las manos y los pies, para que exista una inmersión total, Funch (2016) dice que tienen que cumplirse tres requisitos:
 - El cuerpo del usuario debe ser representado en tiempo real.
 - La sensación de inmersión visual debe ser total y síncrono con los *Head-mounted display* (HMD).
 - El entorno virtual debe corresponder a nivel espacial con el entorno real para que se cumpla la sensación muscular y kinestésica del usuario.

g. Arquitectura de un sistema de realidad virtual

Para la creación de un ambiente de realidad virtual es necesaria la integración de múltiples componentes, tales como el hardware del sistema, el software de soporte subyacente para vincular la pantalla y el hardware de entrada, el modelo con el que

interactuará el usuario [el cual ha sido diseñado utilizando un programa CAD] y un diseño de interfaz de usuario que proporciona un medio adecuado para la interacción.

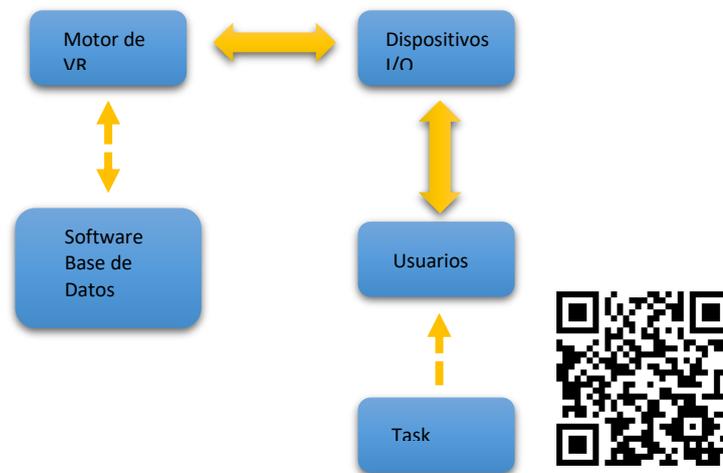


Figura 20. Componentes básicos de un sistema de realidad virtual basado en la propuesta de Burdea y Coiffet.

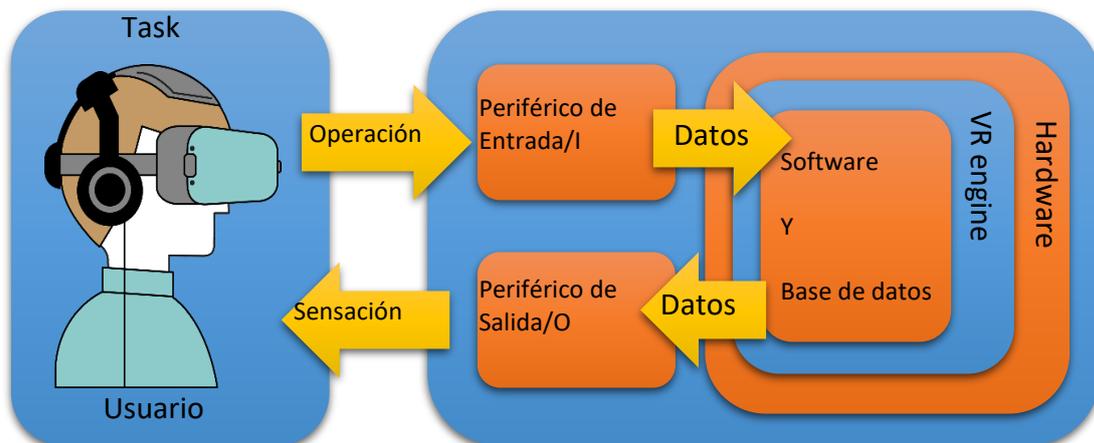


Figura 21. Componentes de un sistema de realidad virtual.

Los componentes tecnológicos operan mediante un sistema informático central que reúne los sistemas de hardware y software para generar la experiencia de realidad virtual en el usuario, la simbiosis de estos componentes realiza los cálculos y se encarga de leer la entrada de los dispositivos, producir los estímulos y calcular el comportamiento dentro del mundo virtual. El nivel computacional debe tener un adecuado procesamiento que permita distribuir la información tanto en computadores

convencionales, dispositivos móviles o incluso en una solución informática en la nube, cuya información será entregada al usuario mediante un dispositivo de visualización, que permita al usuario afectar el mundo virtual a través de acciones de entrada programadas para interactuar con ciertos aspectos del mundo.

Tabla 2
Componentes de hardware y software de un sistema de realidad virtual

Interfaz de usuario	
Componentes de hardware	
Entrada/Input	Salida/Output
1. Seguimiento de cuerpo	4. Visual display
2. Reconocimiento de voz y sonido	5. Aural display
3. Controladores físicos	6. Haptic display
	7. Vestibular display
Software	
Sistemas de representación	Interactividad con el mundo virtual
8. Sistema	10. Interfaz de usuario
9. Renderizador	11. Manipulación
	12. Navegación
	13. Interacción grupal

Para una adecuada conceptualización se han dividido los componentes en hardware y software.

En el caso de los componentes de hardware se considera el motor informático, los dispositivos [periféricos] de entrada y dispositivos [periféricos] de salida I/O. En el caso del software se consideran los programas de modelado y programas de simulación sensorial, simulación física y recolección de datos. Casi todos los componentes deben ejecutarse simultáneamente entre sí. Esto es particularmente necesario para la ejecución de módulos críticos en tiempo real como el renderizador, la simulación física y el módulo de detección de colisión.

h. Hardware

Motor informático [CPU- Unidad Central de Procesamiento y GPU - Unidad de procesamiento gráfico] o computador: el principal instrumento está constituido por el CPU encargado de calcular el comportamiento físico del mundo virtual, es el que recibe la información a través de periféricos de entrada para procesarla y una vez procesada representar el estado del mundo al usuario a través de periféricos visuales, auditivos, táctiles, etc.

La experiencia de realidad virtual (VR) al ocurrir en tiempo real, requiere que el sistema informático tenga requisitos específicos que garanticen una nula o baja latencia. Craig, Sherman y Will (2009) interpretan como latencia al «retraso de tiempo entre el momento en que ocurre un evento y el momento en que sus resultados son aparentes» (p. 11). Si la latencia es media o alta se reduce la efectividad de la experiencia de realidad virtual (VR), es por este motivo que el sistema computacional debe permitir un procesamiento rápido y adecuado, según el tipo de aplicaciones que el sistema deberá ejecutar y la experiencia que se quiera lograr, el sistema informático o computacional puede ser una sola computadora, un dispositivo móvil o varias computadoras interconectadas en red con una gran velocidad de carga y descarga, este sistema debe tener la capacidad de realizar múltiples procesos en tiempo real y que logre cálculos complejos al estar unido con el GPU [unidad de procesamiento gráfico] que ayudará en el proceso.

En el caso de la representación gráfica es necesario que el GPU [que va unido al sistema informático] tenga la capacidad de sincronizar con una pantalla si no es un sistema inmersivo; si se trata de un sistema inmersivo, este debe de sincronizar la renderización de la proyección en varias pantallas ubicadas en el dispositivo para la

cabeza (HMD) que proyectará la imagen para cada ojo, muchas tarjetas gráficas de alta gama diseñadas con frecuencias altas y memorias superiores a lo normal permiten la renderización y muestran las imágenes estereoscópicas a través de un solo mecanismo, que evita la ausencia de concordancia conducente a artefactos negativos y discontinuidad entre dos pantallas próximas que a la larga pueden causar mareos y/o espasmos en el usuario.

Periférico de entrada / input:

El sistema de realidad virtual necesita dispositivos de hardware que supervisen la posición y la ubicación del usuario para entregarles la información necesaria para que la experiencia sea físicamente inmersiva. Las entradas deliberadas permiten al usuario interactuar aún más con el mundo virtual. (Sherman y Craig, 2019, p. 193)

En esta misma línea los sistemas de realidad virtual (VR) no solo requieren un medio para que el usuario le diga al sistema la acción que desea realizar, sino que también es necesario un medio para rastrear alguna parte de su cuerpo, Sherman y Craig (2019) dicen que «existen formas activas [deliberadas] y pasivas en las que el usuario proporcione información al sistema» (p. 193).

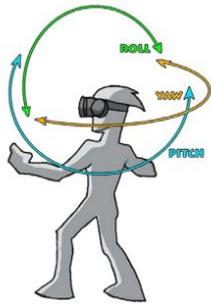
Las entradas activas [sensores] son eventos activados por el usuario, pueden incluir comando de voz, controles táctiles, guantes, teclados, o controles que no necesariamente están en contacto físico con el usuario, tal como los sensores basados en cámaras que son utilizados para interpretar las acciones de las manos, o los sensores visuales que interpreta los movimientos de la vista para realizar una acción. Las entradas pasivas son las que se comunican con el motor informático (CPU) y le dice cómo y en qué espacio se mueve, hacia donde está observando el usuario, es decir son

los eventos supervisados por el sistema de monitoreo del usuario. En este tipo de entrada no es necesario que el usuario realice alguna acción en concreto para su activación. Sobre las entradas pasivas Sherman y Craig (2019) afirman:

Estos métodos incluyen el seguimiento de una o más partes del cuerpo [por ejemplo, manos, ojos y pies] u objetos que el usuario podría sostener o mover. El seguimiento continuo de los movimientos del usuario es lo que permite que el sistema renderice y muestre el mundo virtual desde una perspectiva centrada en el usuario, proporcionando el efecto de la inmersión física. (p. 193)

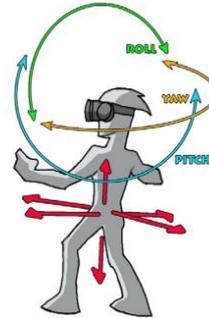
Para un sistema de realidad virtual existen varias tecnologías de entrada que permiten la interacción con el mundo virtual. Los periféricos de entrada varían según el motor informático que se utilice y en cómo la computadora rastrea al usuario que va interactuando mediante acciones dentro del mundo virtual. Sherman y Craig (2019) explican que «algunos periféricos tienen entradas binarias [botones], algunas variables unidimensionales [evaluadores] y algunos informan una ubicación tridimensional en el espacio y la orientación correspondiente - dispositivos hápticos [6-DoF grados de libertad]» (p. 194), partir de los cuales se elaboran sistemas más complejos o el seguimiento de dedo 22-DoF.

3 degrees of freedom (3-DoF)



Dirección de observación
 Detección de la rotación de la cabeza
 Observación del mundo virtual punto único.

6 degrees of freedom (6-DoF)



Posición del usuario y dirección de observación.
 Detección de rotación y traslación
 Completa movilidad en el mundo virtual igual al real

Figura 22. Grados de libertad de los Head-mounted display, recuperada de qualcomm.com

Periféricos de entrada considerados básicos para una experiencia de realidad virtual:

Teclado, cámara, sensor inercial, *mouse*, cámara estereoscópica, sensor magnético, *Joystick/Flightstick*, cámara de profundidad, sensor de distancia, pedal, sensor de luz, sensor de presión, micrófono, sensor de curvatura, *Steering wheel/Yoke*, panel táctil, sensor de aire, *SpaceBall/SpaceNavigator*, Sistema satelital de posicionamiento global (GPS) y otros.

Muestras de periféricos

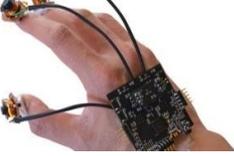
			
<i>3DRudder</i>	<i>Control VR</i>	<i>Cyberith Virtualizer</i>	<i>Daydream Controller</i>
			
<i>Finexus</i>	<i>HoloLens Clicker</i>	<i>Intel RealSense</i>	<i>Kat Walk</i>
			
<i>Kinect</i>	<i>KOR-FX Gaming Vest</i>	<i>Leap Motion VR</i>	<i>Manus VR</i>
			
<i>Myo</i>	<i>Nimble Sense</i>	<i>Nod</i>	<i>Oculus Touch</i>
			
<i>Oculus Remote</i>	<i>Omni</i>	<i>Omnideck</i>	<i>OpenBCI</i>
			
<i>Perception Neuron</i>	<i>Finch VR</i>	<i>PlayStation Move</i>	<i>PlayStation VR Aim</i>
			
<i>PrimeSense</i>	<i>PrioVR</i>	<i>Project Solis</i>	<i>Razer Hydra</i>



Figura 23. Muestra de periféricos de entrada.

Algunos periféricos de entrada cumplen doble función como entrada y salida como el caso de los *Head-mounted display* (HMD), Los guantes de datos [*Data Gloves*], traje de datos [*Datasuit*] y parte de vestuarios de VR. Estas tecnologías se caracterizan por el número de grados de libertad [DOF, *Degrees of Freedom*] que tienen y, por las funciones que pueden realizar los usuarios con estos periféricos, por ejemplo, si el usuario tuviera seis grados de libertad (6 DoF), significaría que este tiene la capacidad de moverse en el espacio tridimensional, hacia: adelante/atrás, arriba/abajo, izquierda/derecha. El movimiento que se realiza en cada eje es independiente, a su vez la rotación también es independiente de cualquiera de los ejes.

Periféricos de salida / output [efectores o inmersores]

Un sistema de realidad virtual (VR) está influenciado por la capacidad de percepción que tiene el usuario, pero esta percepción física del mundo virtual proviene del computador que a través de dispositivos es transferido al usuario, estos periféricos de salida se encargan de traducir las señales y estimular los sentidos de la vista, sonido, el gusto, tacto y olfato, [aunque no todos necesariamente están presentes en una

experiencia VR]. Para que se logre la experiencia VR cada sentido estimulado debe existir una conexión entre ellos, sin embargo, -realizando la aclaración- la inclusión de sentidos adicionales siempre mejora la inmersión y por tanto la experiencia de VR, pero a más implementación de dispositivos o pantallas sensoriales, la tarea de implementación se va complicando. De los cinco sentidos mencionados los que son típicamente sintetizados por la experiencia de la realidad virtual (VR) son los visuales, auditivos y táctiles, Zhang (2017) citando a Mazuriy et al., dice que «el sentido visual y el sentido auditivo se hacen cargo del 70% y 20% respectivamente de la detección total de un ser humano, mientras que el tacto, olfato y gusto solo toman el 10%» (p. 2).

A partir de lo mencionado por Zhan para los periféricos de salida se ha realizado la definición en base a cuatro divisiones:

- *Visual display* [generadores de imágenes]
- *Aural display* [generadores de sonido]
- *Haptic display* [pantallas hápticas/manipulación táctil]
- Otros periféricos de salida

Visual display. Estos dispositivos tienen la mayor influencia en el diseño de un sistema de realidad virtual (VR), utilizar el sentido visual es casi siempre indispensable en la VR debido a que es el medio predominante en la comunicación convencional, por lo tanto, también tiende a dominar cómo se define el sistema de realidad virtual (VR) y sobre qué base se va a implementar.

Los tipos de pantallas sean estas estacionarias como las CAVE o las basadas en la cabeza [*head-based*] o los basados en la mano [*Hand-based*], tienen características propias, que van a estar continuamente influenciadas por los avances tecnológicos y por los recursos económicos con los que se cuente en el desarrollo del sistema de

realidad virtual (VR). Algunas pantallas en un sistema de realidad virtual muestran imágenes monoscópicas, pero en su gran mayoría utilizan imágenes estereoscópicas con el objetivo de imitar la sensación del mundo real. T-System (2018) nos dice que «la proyección estereoscópica proporciona la experiencia de inmersión, facilitando la percepción de los objetos tridimensionales y los volúmenes en el mundo virtual; el usuario se sentirá inmerso en el interior del entorno, con la sensación de formar parte de la simulación» (p. 1).

El dispositivo de visualización más utilizado en un sistema de realidad virtual es el *head mounted display* HMD [pantalla montada en la cabeza], aunque hay que identificar en qué aplicación se va a utilizar, porque cada implementación de sistema de realidad virtual tiene características únicas, y lo que es bueno en uno no necesariamente sea bueno en otro dispositivo. Sherman y Craig (2019) describe siete categorías de pantallas de visualización a partir de la disposición de visualización:

- Pantallas fijas:
 - Pantalla *Fishtank* VR
 - Pantalla envolvente VR
- Pantallas basadas en cabeza:
 - HBD oclusivos
 - HBD no oclusivos [transparencia óptica y video transparente]
 - Pantalla proyectiva (HMPD) basada en la cabeza [montada]
 - Pantalla de teléfono inteligente-VR
- Pantallas basadas en la mano:
 - VR portátil / realidad aumentada (AR).

Propiedades de los Visual display [pantallas de visualización]

Cada dispositivo cuenta con propiedades que son comunes entre ellos [aunque varíen en sus componentes], pero otras son únicas a cada dispositivo, al respecto Sherman y Craig (2019) dicen que para establecer una definición de las propiedades de las pantallas estas se han dividido en propiedades de presentación visual y propiedades en base a la logística, «estas propiedades varían de un sistema a otro, lo único que las pantallas visuales tienen en común es que cada una tiene un método para transmitir una imagen visual al participante» (p. 262). Además, agrega «Las fortalezas y debilidades entre los métodos de visualización tendrán un efecto en la calidad de las imágenes y en la logística ergonómica del hardware» (Sherman y Craig, 2019, p. 262)

Tabla 3
Presentación visual

Fijado a tierra/ <i>Grounding</i>	Hace referencia a la posición de la pantalla y la ubicación permanente de este a un lugar específico, por ejemplo un sistema CAVE.
Tecnología de emisión	Hace referencia a la tecnología de emisión en este caso la luz, que iluminan los pixeles para componer la imagen, pueden ser rayos catódicos CRT, LED, OLED o procesador de luz digital DLP.
Color	Hace referencia a las opciones que muestran el color y la variación entre dispositivos de visualización, muchos de ellos proporcionan color tricromático.
Resolución espacial	Hace referencia al tamaño de las pantallas a nivel horizontal y vertical, el número de píxel y la cantidad de puntos por pulgada de resolución.
Contraste	Hace referencia a la diferencia de intensidad lumínica en la gama de blancos y negros o en la de colores de una imagen.
Brillo	Hace referencia a la cantidad de flujo de luz que emite una fuente de visualización.
Número de canales de visualización	Hace referencia al número de canales simultáneos de una pantalla para la experiencia de VR por lo general se requiere dos canales para lograr la estereoscopia (3D).

Distancia focal	Hace referencia a la distancia óptica de las imágenes a los ojos del espectador.
Óptica	Hace referencia a la óptica utilizada para la experiencia de la realidad virtual, siendo esta crucial especialmente en el uso de los HMD.
Opacidad	Hace referencia a la visibilidad del mundo físico o el de ocultar el mismo, en algunos casos se puede incluir el mundo físico en la experiencia de VR [realidad aumentada o realidad mixta].
Enmascaramiento	Hace referencia a cubrir elementos físicos del mundo real para que no obstruya la experiencia en el mundo virtual, mediante el uso de pantallas con la capacidad de enmascarar.
<i>Field of view</i> (FOV)	Campo de visión, es el ángulo de visión permitido por una pantalla del dispositivo de VR.
Campo de consideración [<i>field of regard</i> – FOR]	Es el campo de consideración de una pantalla, espacio que es llenado con el mundo virtual y que rodea al usuario. Por ejemplo, un HMD con movimiento ilimitado el FOR es 100%.
Información de posición de la cabeza	Hace referencia a los grados de libertad que tiene el usuario en el movimiento dentro del mundo virtual.
Tolerancia de latencia	Hace referencia al retraso que ocurre entre el movimiento o acción del usuario y la actualización en la pantalla, esta propiedad es importante porque la alta latencia puede causar estrés en el usuario manifestándose con dolores de cabeza o mareos.
Resolución temporal [velocidad de fotogramas]	Es la velocidad en la que se muestran las imágenes en la pantalla medida en fotogramas por segundo (FPS).

Tabla 4
Propiedades logísticas

Colocarse el aparato	Es importante cómo el usuario se pone el equipo principalmente cuando usa el HMD, el primer contacto con el periférico determinará la relación que tendrá con la experiencia.
Movilidad del usuario	La movilidad puede afectar tanto la inmersión como la utilidad de la experiencia de realidad virtual del usuario. La mayoría de las pantallas visuales tienen ciertas restricciones para el usuario, como por ejemplo, los cables que atan al usuario al sistema, sistemas de seguimiento con rango limitado y pantallas estacionarias que no le permiten al usuario moverse más allá de la ubicación de la pantalla. La tecnología móvil [<i>Smartphone</i> y <i>tablets</i>] mejora la movilidad al permitir el desplazamiento sin ataduras, además sistemas como <i>Smart Helmet</i> y <i>HoloLens</i> demuestran la posibilidad de realizar un seguimiento de área amplia y simulación.
Interfaz con métodos de seguimiento	Es la integración de tecnologías de seguimiento y acelerómetros que vienen integrada a la pantalla e incluso algunas integran micrófonos para el seguimiento ultrasónico.
Contaminación lumínica	Hace referencia al exceso de luz que puede interferir en la experiencia de VR a partir de una fuente externa o interna.
Requisitos ambientales	Hace referencia a la consideración que se debe tener acerca del entorno, que esté libre de limitaciones para una adecuada experiencia de VR.
Asociabilidad con otras pantallas sensoriales	Los distintos dispositivos utilizados deben de tener un grado de asociabilidad, aunque en algunos casos la implementación se complica por la dificultad que esto significará, por ejemplo, la complejidad de los sistemas de hápticos probablemente imponga restricciones a la visualización.
Portabilidad	Hace referencia a la movilidad de un sistema de realidad virtual y a la distancia de desplazamiento del usuario en el espacio, los dispositivos móviles ayudan a una mayor distancia de movilidad, pero limitan algunos otros aspectos.
Rendimiento	El rendimiento debe de considerar el espacio y el número de personas a utilizar el sistema de realidad virtual (VR). Por ejemplo, lleva más tiempo ponerse y quitarse la mayoría de los HMD que en la mayoría de las otras pantallas visuales.
Obstrucción	Hace referencia a la obstrucción u obstáculo que tiene una pantalla de realidad virtual, por ejemplo, cuanto más se use un dispositivo pesado como el HMD, más cansado resultará el usuario.
Seguridad	En el uso de pantallas suele surgir muchos problemas de seguridad tales como tropezar con objetos del mundo real, otro problema de seguridad es la fatiga ocular, se sugiere realizar un protocolo de uso según el sistema a usar.
Costo	Aunque los costos de las pantallas para VR han disminuido es indispensable realizar una tabla con los costos requeridos para la implementación, según la experiencia que desea lograr.

Tabla 5
Principales dispositivos Head-mountain display

Dispositivo	Compañía	Descripción	Tipo	Resolución	Ratio de Refresco	DoF	Control	Plataforma de hardware	Plataforma de software
HTC Vive Cosmos	HTC	La serie <i>Vive Cosmos</i> es el primer sistema de VR para PC <i>inside-out</i> . Ofrece un conjunto de opciones modulares para una amplia gama de aplicaciones de VR.	<i>Tethered</i>	1440 x 1700 píxeles por ojo [2880 x 1700 píxeles combinados]	90 Hz	6DoF	<i>Motion Controllers</i>	PC	<i>SteamVR</i>
Oculus Go	Facebook	Gafas de realidad virtual autónomas basadas en el sistema operativo Android, no requiere de un dispositivo o móvil para su funcionamiento.	<i>Standalone</i>	1.280 x 1.440 píxeles por ojo [QHD 2.560 x 1.440 píxeles combinados]	72 Hz	3DoF	<i>Oculus Go Controller</i>	<i>Android</i>	<i>Oculus</i>
Oculus Quest	Facebook	Son gafas de realidad virtual todo en uno, no requiere un PC para su funcionamiento ni cables adicionales.	<i>Standalone</i>	1600 x 1440 píxeles por ojo [2880 x 1600 píxeles combinados]	72 Hz	6DoF	<i>Oculus Touch</i>	<i>Android</i>	<i>Oculus</i>
Oculus Rift S	Facebook	Son gafas de realidad virtual construidas sobre la plataforma <i>Rift</i> para uso con un computador (PC) e incluye una tecnología de rastreo <i>Oculus Insigh</i> que mejora la detección de movimiento generando una experiencia más inmersiva.	<i>Tethered</i>	1700 x 1440 píxeles por ojo [2560 x 1440 píxeles combinados]	80 Hz	6DOF	<i>Oculus Touch</i>	PC	<i>Oculus</i>
Samsung Gear VR	Samsung	Son gafas de realidad virtual que hacen uso de un dispositivo móvil <i>Samsung</i> para su uso en realidad virtual.	<i>Standalone</i>	Depende del dispositivo	60 Hz	3DoF	<i>Gear VR Controller</i>	<i>Android</i>	<i>Oculus</i>
Google Cardboard	Google /OpenSource	Visor para realidad virtual que hace uso de un teléfono móvil para su funcionamiento	<i>Tethered</i>	Depende del dispositivo	-----	3DoF	No tiene	<i>Android</i>	<i>Google</i>

Aural display. Estos periféricos son los encargados de gestionar la salida de los estímulos sonoros para mejorar la experiencia de realidad virtual (VR). La utilización de periféricos de sonido por lo general sirve para acompañar a los dispositivos visuales, incluso con sonidos de un solo canal [monoaurales] pueden incrementar la experiencia de inmersión, aunque si se requiere enriquecer la experiencia sonora en la realidad virtual será necesaria la utilización de más canales, aunque el uso de sistemas estereofónicos tradicionales no garantiza un incremento sustancial de la experiencia, ya que se suele utilizar en dispositivos móviles.

Para Craig et al. (2009) el problema con los sonidos estereofónicos tradicionales principalmente en sistemas de realidad virtual estacionarios tales como *Cave*: «no es que solo salga de dos altavoces, sino que está preproducido [preprocesado] para que parezca que ciertos sonidos provienen de lugares particulares» (p. 15). Debido a que «la realidad virtual es interactiva, generalmente no es posible saber *a priori* dónde estará el sonido en relación con el oyente, por lo tanto, los sonidos que deben emanar de una ubicación en particular deben procesarse para crear este efecto» (Craig et al., 2009, p. 15).

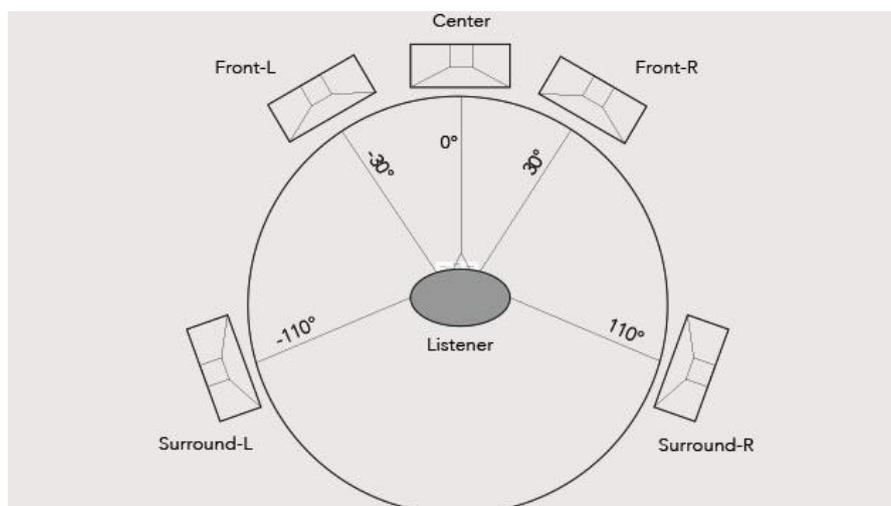


Figura 24. Ubicación de monitores de audio en un CAVE. Tomada de goblincreative.com

Craig hace referencia a la espacialización sonora que surge en el siglo pasado a partir de estudios e investigaciones musicales, Esacademic (2019) define la espacialización sonora «al proceso mediante el cual un sonido es manipulado para generar en el oyente la sensación de estar moviéndose en un espacio real o virtual» (p. 1). El sonido espacializado se puede reproducir para que funcione en monitores de dos altavoces para producir efectos binaurales o de múltiples altavoces.

Sobre binaural, el ingeniero, productor e investigador musical Earick (2018) dice:

Con la adopción de la tecnología de renderización binaural se hizo posible un logrado audio 3D en la realidad virtual. El renderizado binaural reproduce lo que escuchamos en el mundo real mediante la transformación de señales tridimensionales de audio en salidas estéreo, lo que permite escuchar verdaderos sonidos tridimensionales incluso con auriculares de uso cotidiano.

El audio espacializado puede combinar de manera efectiva sonidos estéreo y monofónicos prerrenderizado.

Una experiencia de realidad virtual podría tener un sonido asociado con un objeto o persona en particular en el mundo. Ese sonido, por lo tanto, debe espacializarse para que parezca que sigue al objeto o la persona, la escena también puede tener sonidos callejeros genéricos en el fondo, presentados como estéreo prerrenderizado. Se puede agregar una orquestación ambiental monofónica para influir en el estado de ánimo a la mezcla para crear un efecto general altamente inmersivo. (Craig et al., 2009, p. 15)

Los dispositivos más utilizados para el sonido en un sistema de realidad virtual son los parlantes o altavoces que son utilizados por lo general en sistemas de realidad virtual estacionarios o fijos [*Cave*, pantallas de proyección o monitores de escritorio] y los auriculares que son usados en periféricos que van montados en la cabeza o

dispositivos móviles, aunque con estos últimos también se podría utilizar parlantes y por supuesto, aunque en menor medida, se pueden utilizar auriculares en sistemas *Cave*.

Sherman y Craig (2019) dividen en tres los dispositivos de sonido para la salida en realidad virtual en:

Dispositivos fijos

- Altavoces: son parlantes que se colocan en lugares estratégicos de la habitación para generar un sonido 3D en la realidad virtual (VR).

Dispositivos basados en la cabeza

- Auriculares abiertos [*open-ear, near-ear y on-ear*]: son auriculares que están diseñados para permitir que filtre sonidos del exterior sin que cause molestia. El diseño de este tipo de auriculares está destinado a proporcionar una experiencia de sonido natural, y el oyente no está aislado del mundo exterior y puede percibir los ruidos que le rodean.
- Auriculares cerrados [*Over-ear, in-ear*]: son auriculares que están completamente aislados de filtraciones de sonidos del exterior, por lo general, este tipo de dispositivos proporcionan sonidos graves más pesados.

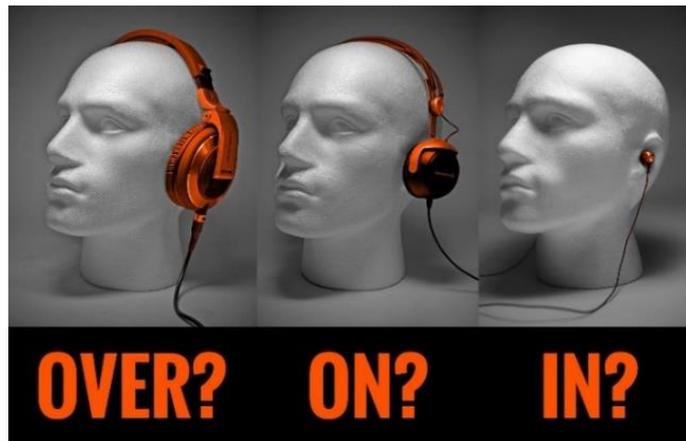


Figura 25. Diferencia de audífonos, over-ear, in-ear, y on-ear.
Tomada de qore.com

Dispositivos basados en la mano

- Dispositivos controladores de interacción: son dispositivos que pueden cumplir doble función, por lo general son considerados sistemas sonoros de mano, este accesorio representa un objeto más en el mundo virtual que al hacer un contacto con otro objeto, se activa y produce el sonido, un ejemplo es el mando de un *PlayStation* o el *Wii mote* cuando se juega un videojuego de acción y al dar un golpe en el mundo virtual, el mando vibra y a la vez emite un sonido.
- *Smartphone / Tablets AR*: la salida del sonido viene integrada a los dispositivos móviles.

Los dispositivos sonoros pueden agregar un mayor grado de inmersión en un sistema de realidad virtual, aunque los sistemas basados en altavoces estacionarios pueden significar un alto costo en su implementación, los sistemas basados en auriculares pueden suplir a costos relativamente menores.

Sobre los dispositivos sonoros Sherman y Craig (2019) proponen algunos beneficios de la implantación en sistemas de realidad virtual:

Beneficios de altavoces estacionarios

- Funciona bien en sistemas de realidad virtual estacionarios y de gran tamaño como los *Cave*.
- No requiere un renderizado del sonido para crear ambiente.
- El usuario puede desplazarse por el espacio sin perder calidad del sonido.
- No tiene cables o elementos externos sobre el usuario que cause incomodidad.
- Varios usuarios pueden compartir en un mismo ambiente y con los mismos efectos sonoros.

Beneficios de los auriculares

- Funciona bien con cascos montados en la cabeza HMD.
- Es más sencillo implementar sonidos 3D espacializados.
- Estos dispositivos pueden enmascarar ruidos que provienen del mundo real e interfieran la experiencia.
- Es mucho más fácil su portabilidad.
- Es privado, como los dispositivos de mano.
- Se pueden obtener sonidos de referencia espacializados al momento.
- Funciona bien al estar combinados con dispositivos sonoros estacionarios o de oreja abierta.
- Está presente en dispositivos móviles como *smartphone* o *tablets*.

Dispositivos hápticos

El termino háptico hace referencia a crear estimulación en el sentido del tacto [háptico del griego *háptō/ haptesthai* = tocar, relativo al tacto], acerca de los dispositivos hápticos se amplía el concepto y se ha considerado incluir lo relacionado

con estimulación del sistema muscular y esquelético, Aunque Burdea (1999) al respecto considera tres tipos de retroalimentación «táctil o cutánea [la que permite reconocer texturas], retroalimentación de fuerzas cinéticas [reconoce peso y dureza] y retroalimentación propioceptiva [posición y orientación]» (p. 1). Por un orden más estructural, los dispositivos hápticos se analizan en dos componentes el «táctil [entrada a través de la piel] y propioceptivo [entrada a través de los sistemas muscular y esquelético]» (Sherman, 2009, p. 16), cuando nuestros dedos entran en contacto con una superficie áspera nos causa sensaciones táctiles y cuando realizamos un esfuerzo al cargar un objeto pesado nos causa sensaciones propioceptivas.

Algunos dispositivos hápticos son considerados como de entrada/salida, para que el dispositivo cree una estimulación y, para crear una reacción háptica es necesario previamente enviar y realizar una acción en el mundo virtual.

Generar efectos con un dispositivo háptico es un proceso complejo ya que nuestras sensaciones táctiles son difíciles de engañar por ser bidireccionales, no solo se siente el mundo, ya que cada acción afecta al mundo y el tacto es el único sentido que no puede ser estimulado desde la distancia, pero añadiendo este dispositivo a la realidad virtual (VR) enriquecerá la experiencia y por lo tanto llevará al usuario a un grado mayor de inmersión. El proceso se consigue con la utilización de varias tecnologías hápticas bidireccionales que previamente «resolvieron problemas de diseño mecánico, transmisores de fuerza, sistemas en tiempo real, algoritmos de representación, modelado de interacción humano maquina y otras» (Robles, 2006, p. 24), lo que significa que el usuario es el que interactúa con el mundo virtual al sostener un elemento que toca ese mundo virtual, puede ser un elemento que se toca con el cuerpo o se manipula con el cuerpo y se percibe retroalimentación vibrotáctil en el

organismo del usuario [mandos de los videojuegos], otras veces las herramientas se pueden utilizar para manipulaciones muy finas como las simulaciones de cirugías en el mundo virtual que ayuda a los médicos a prepararse para una cirugía del mundo real. Los requisitos para el uso de la tecnología háptica son rigurosos y entre las acciones más comunes incluyen «detectar el estado de una interfaz háptica [6DOF], calcular la detección de colisión táctil, actualizar el estado de los objetos virtuales, calcular y mostrar las fuerzas o los esfuerzos de torción necesarios» (Robles, 2006, p. 24). Las tecnologías hápticas deben garantizar la integración de manera confiable y significativa con los otros dispositivos tales como las tecnologías visuales, auditivas y otros que estén presentes en el sistema de realidad virtual (VR).

Sherman y Craig (2019), divide las tecnologías hápticas en cinco categorías y una categoría adicional que llaman la pseudocategoría:

Dispositivos táctiles

Basados en la capacidad de la piel para interpretar los estímulos del periférico como los estímulos cutáneos, que incluyen vibración, presión, corte, dolor y temperatura. Para que el efecto se constituya, se utilizan dos tipos de formas, uno es: dispositivos cutáneos que visten al usuario, estos pueden ser un guante, un traje que pueden ser chalecos equipados con estimuladores táctiles o trajes completos y, el segundo es un joystick o un timón de mando.



Figura 26. Traje háptico para un sistema de realidad virtual. Tomada de cyberprops.com

Dispositivo de efector final [incluye dispositivos locomotores]

Un efector es un dispositivo que se monta al extremo de un brazo robótico y es utilizado para que responda a estimulaciones. Los usuarios mediante el uso de sus manos o pies hacen contacto con el dispositivo que es manipulado para que realice acciones, que también puede reaccionar a la resistencia y fuerza.

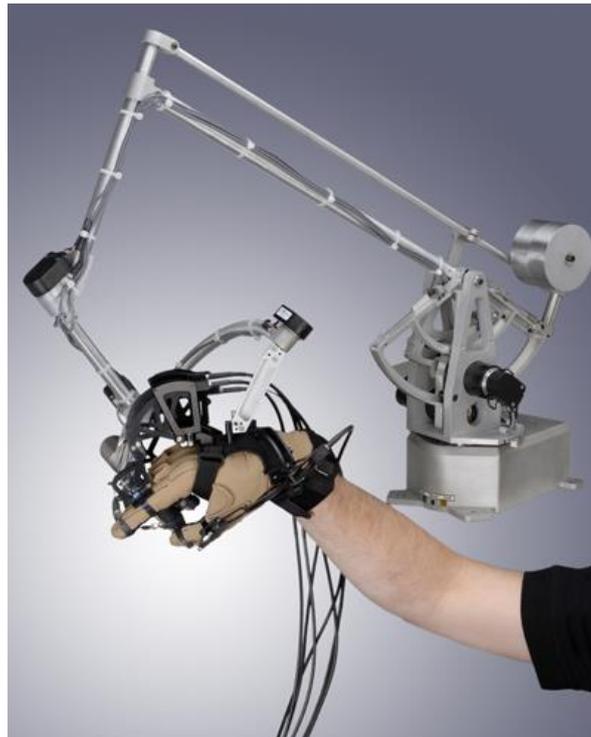


Figura 27. Sistema CyberForce integrado con el exoesqueleto CyberGrasp, permite sentir el peso y la inercia mientras se recoge objetos en el mundo virtual, también puede sentir la resistencia de una pared. Tomada de cyberglovesystems.com.



Figura 28. Dispositivo háptico Touch X proporciona retroalimentación de fuerza de precisión, permite esculpir en un ambiente 3D. Tomada de es.3dsystems.com.



Figura 29. Simulador LapVR de CAE, permite realizar prácticas médicas, aprender y mejorar las habilidades quirúrgicas invasivas. Tomada de caehealthcare.com.

Dispositivos de operación robótica [ROSD - Robotically operated shape displays]

Son dispositivos de trajes completos o guantes cuyo objetivo es mover y manipular robots para que realicen acciones determinadas, estos pueden estar en lugares distintos al operador.

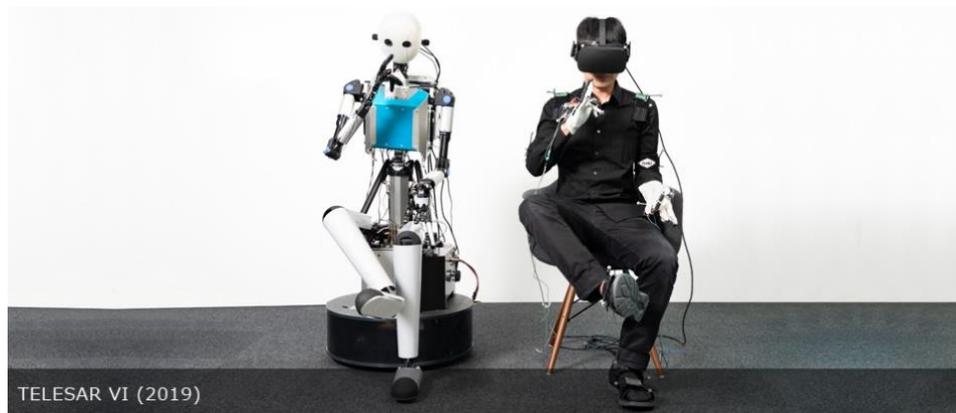


Figura 30. Sistema háptico de teleexistencia. Tomada de tachilab.org

Dispositivos hápticos pasivos

Son dispositivos que proporcionan al usuario sensaciones táctiles, en las que el usuario además puede sentir la forma, el peso, la textura y el centro de gravedad. En esta experiencia de realidad virtual se incluyen elementos externos del mundo real para magnificar la sensación, estos elementos reales en el mundo virtual cambian su apariencia y es mostrada en los HMD.



Figura 31. En esta imagen la participante recibe pistas sobre el mundo virtual, utilizando madera para representar hápticamente paredes y piedra, en el casco montado en su cabeza ella ve una caída de muchos metros de altura, al ubicarse al borde sentirá que está viendo la caída. [Imágenes cortesía de la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill].

Dispositivos mixtos

Son dispositivos que agregan varias funciones a las mencionadas líneas arriba, tales como un tacómetro vibrotáctil o un dispositivo Peltier que ayude a cambiar la temperatura, o también puede incluir una superficie microfluida que cambie entre varias texturas desde lisas a ásperas y otras funciones.

Categoría-X. 3D Hardcopy

En esta categoría se considera a la impresión 3D que, al utilizar las diversas técnicas de modelado 3D en un ambiente virtual, se obtiene un modelo STL que con la ayuda de una impresora 3D es impreso obteniendo un modelo real, el que conserva las dimensiones, la textura, y según la técnica de impresión usada también el color dado en el mundo virtual.

En conclusión, los dispositivos hápticos emulan las estimulaciones kinestésicas y cutáneas causadas por objetos en el mundo virtual, para su implementación se debe

analizar la importancia de este dispositivo para mejorar la experiencia ya que como los anteriores puede tener sus desventajas, siendo uno de ellos el gasto económico enorme en su implementación, otra desventaja es que los dispositivos hápticos proporcionan estímulos táctiles o de fuerza pero no ambos, aun no existe en el mercado y los que existen están en fase de investigación.

Las ventajas de usar un dispositivo háptico son:

- Los dispositivos hápticos táctiles tienen la facilidad para la manipulación de objetos en el mundo virtual.
- Los dispositivos hápticos táctiles por lo general son portátiles.
- Los dispositivos hápticos táctiles se pueden combinar con dispositivos hápticos efectores.
- Tienen la ventaja de crear sensaciones sin contacto a través de los efectos 4D [Cine 4D].
- Los dispositivos hápticos con efecto final o efectores pueden ser estacionarios o móviles como los exoesqueletos que, algunos, no necesitan cables adicionales.
- Los dispositivos hápticos con efecto final o efectores tienen seguimiento rápido y preciso que puede estar integrado en la pantalla.
- En los dispositivos hápticos ROSD la experiencia es muy realista.
- Al igual que los efectores, los dispositivos hápticos ROSD son rápidos y precisos.
- Los dispositivos hápticos ROSD integran rápidamente los efectos 4D y efectos táctiles.
- Los dispositivos hápticos ROSD trabajan muy a menudo con los HMD.
- Los dispositivos hápticos pasivos son muy económicos y fácil de implementar.

- Los dispositivos hápticos pasivos permiten transferir objetos fácilmente entre usuarios.

Otros dispositivos

Hay varios dispositivos tecnológicos para el uso en la realidad virtual que no han sido mencionados, sean estos porque combinan varias tecnologías o pertenecen a sentidos que aún están en fase de investigación; sin embargo, son dispositivos que utilizan algunos estímulos o detectan ciertas propiedades del usuario, por ejemplo un dispositivo vestibular [relacionado con el equilibrio y el control espacial] que afecta el oído interno, con el propósito de proporcionar al usuario estímulos sobre cómo se están moviendo y en qué dirección va su punto de gravedad.

Si bien el órgano humano que proporciona esta percepción se encuentra en el oído interno, no responde a los estímulos auditivos, específicamente, ayuda a los humanos a sentir el equilibrio, la aceleración y la orientación con respecto a la gravedad, sin embargo, existe una fuerte relación entre los sistemas vestibular y visual. La inconsistencia entre las señales, como la línea del horizonte y el equilibrio, puede provocar náuseas y otros síntomas de la enfermedad del simulador (Sherman y Craig, 2019, p. 389).

Por eso no es recomendable el uso de este dispositivo, es mejor mover al usuario en el ambiente físico real para lograr una estimulación precisa al sistema vestibular, de esta forma no se interfiere con las vías neuronales del sujeto.

Otros dispositivos enmarcados en esta categoría podrían ser los que permiten la detección del movimiento de los ojos, estos pueden utilizar una cámara de video y a partir de las imágenes extraer la posición de los ojos.

Los detectores de presión sanguínea son dispositivos que van a medir los cambios de tensión en el sujeto, estos dispositivos están siendo utilizados en la medicina para que algunas personas estresadas consigan controlar la ansiedad.

Otros dispositivos son controladores de temperatura, sensores de respiración o los guantes detectores de color como el que realizó Popović y Wang (2009) el cual es descrito en su artículo titulado *Real-Time Hand-Tracking with a Color Glove*, que proponen una «entrada tridimensional del usuario con el uso de un guante de tela común y una cámara que rastreará el patrón del guante previamente impreso» (p. 1).



Figura 32. Guante que en base a colores detecta elementos en el mundo virtual. Tomada de homes.cs.washington.edu.

i. Software

Los softwares utilizados para los sistemas de realidad virtual son los encargados de generar la experiencia desde la fase de modelado geométrico y conectar al usuario con el hardware. Mediante el software se logra que el mundo virtual cobre vida y todos los elementos que existan puedan ser manipulados por el usuario. Para que se desarrolle una experiencia de realidad virtual debe existir una sinergia entre varios softwares que abarcan desde «bibliotecas de bajo nivel para simular eventos, renderización de imágenes, programación de interacción con dispositivos I/O que crean alteraciones en los objetos» (Craig, 2009, p. 23). Herramientas para el diseño de interfaz de usuario hasta los softwares todo en uno que desarrollan experiencias de realidad virtual sin

tener que programar ninguna línea de código o conocer un lenguaje de programación específico, aunque es limitado en varios aspectos.

Gobbetti y Scateni (1998) subdivide los softwares para la construcción de sistemas de realidad virtual en dos:

«Los sistemas de autor: son programas completos con interfaces gráficas para crear mundos sin recurrir a una programación detallada, pero por lo general incluyen algún lenguaje *scripts* para acciones complejas» (Gobbetti y Scateni, 1998, p. 20). Un sistema de autor muy conocido es VRML [*Virtual Reality Modeling Lenguaje*] que fue introducido en 1994 y se convirtió rápidamente en el estándar para la creación de mundos virtuales no inmersivos y cuyos proyectos se visualizan a través de un navegador web, aunque su uso ha decrecido significativamente, algunos entusiastas e investigadores aún siguen utilizándolo, en la actualidad se está usando mucho en la industria como formato de intercambio de archivos. A partir de VRML aparecieron varios sistemas de autor como X3D con una sintaxis basada en el estándar XML (Extensible Markup Language) y considerado como un lenguaje que se utiliza para programar diseños de gráficos vectoriales y que permite la creación y transmisión de datos 3D entre distintas aplicaciones. A partir del VRML, en los años siguientes aparecieron herramientas completamente gráficas en las que se podía crear modelos geométricos tridimensionales y exportarlos como formato para VR.

«Los kits de desarrollo de software (SDK): son bibliotecas de programación que proporcionan un conjunto de funciones para apoyar la creación de una aplicación de realidad virtual» (Gobbetti y Scateni, 1998, p. 20).

Los sistemas de autor te permiten trabajar en un solo ambiente para la creación de experiencias de realidad virtual, pero están limitados y no ofrecen todas las

funcionalidades de los kits de desarrollo de software, realizando un análisis ningún sistema único cubre todos los aspectos para la creación de un experiencia de realidad virtual, la experiencia VR se logra combinando diversos sistemas que se van integrando a la aplicación, por consiguiente a la división de Gobbetti y Scateni se tendría que agregar las plataformas de desarrollo, la interfaz de programación de aplicaciones (API) siendo uno de los conocidos el *OpenGL*, un API que proporciona un conjunto de funciones para escribir aplicaciones que produzcan gráficos 2D y 3D muy usado en el CAD, VR y el desarrollo de videojuegos. Otro API conocido es *Direct3D [low-level]* parte de *DirectX* de *Microsoft* cuya función es la programación de gráficos tridimensionales. A la división propuesta por Gobbetti y Scateni también se tendría que agregar el entorno de desarrollo integrado (IDE) e incluso cada hardware de I/O tiene su propio SDK, de esta forma se tendrán cubiertos varios aspectos importantes en el desarrollo de un sistema de realidad virtual (VR).

Una división acertada en el uso del software a utilizar es la que realizan en la actualidad los profesionales encargados del desarrollo de sistemas de realidad virtual, dividen los softwares en:

- **Los utilizados para el diseño y modelado tridimensional.** En el que incluso se construye el entorno virtual y se definen las texturas, la iluminación y otros aspectos importantes del diseño; muchos de estos softwares se crearon antes del ascenso de la realidad virtual y han comenzado a adaptar sus plataformas a nuevos flujos de trabajo basados en la realidad virtual (VR). Algunos softwares son 3Ds *Max, Maya, Blender, Cinema 4D, Modo, Revit* entre muchos.
- **Los softwares utilizados para el procesamiento de audio y sonido.** Si el audio en una experiencia de realidad virtual está mal diseñado o tiene problemas de

sincronización puede crear un rechazo y desazón en el usuario, el audio debe ser un eje más de integración dentro de la experiencia de realidad virtual, motivo por el cual el manejo de los softwares de audio y sonido deben estar a cargo de un especialista- ingeniero de sonido. Para algunas áreas que usan la VR el audio es considerado opcional, ya que en vez de aportar beneficios puede traer desconcentración en los usuarios; es el caso de la medicina, la arquitectura, manufactura o áreas afines, aunque es motivo de discusión entre especialistas. Para esta parte del proceso existen innumerables softwares de manejo de audio y sonido, la característica que deber tener es que permita trabajar el binaural, audio inmersivo, sonido 3D [conocido como sonido 8D] u holofonía, claro está que depende del proyecto a trabajar.

- **Los softwares de integración o motor de desarrollo.** Son utilizados para unir todos los elementos creados en los softwares de modelado y diseño tridimensional, en esta plataforma se programan las acciones, eventos e interactividad a los elementos, la mayoría de estos softwares son multiplataforma, además de admitir varios lenguajes de programación como C, C++, C#, *Phyton*, *javascript* entre los principales; también cuentan con su propio *script*, trabajan fundamentalmente con motor grafico *OpenGL* y *Direct3D*, lo ventajoso de estos softwares es que tienen una interfaz gráfica en la que se puede ver directamente cómo va quedando la integración y trabajar el renderizado. En muchos casos no es necesario tener conocimientos en el manejo de un lenguaje de programación, aunque es recomendable. Los softwares de integración permiten exportar a una gran cantidad de plataformas de distribución para disfrutar de la experiencia de realidad virtual desde dispositivos móviles, HMD, dispositivos de escritorio, consola de videojuegos

y equipos de hogar. Los motores de desarrollo más conocidos son, *unreal engine* y *unity*.

- **Plataformas de distribución.** Son herramientas que permiten que el usuario final pueda participar de la experiencia de realidad virtual, estas pueden estar contenidas en un soporte digital o en remoto.

Con la aparición de tecnología en la nube muchas empresas se han lanzado a ofrecer este servicio bajo el modelo *cloud computing* y tienen completa compatibilidad con los motores de desarrollo, pero otras empresas suelen pasar por alto los softwares de integración ya que la plataforma permite subir el archivo conteniendo el modelo tridimensional a su servidor y la plataforma se encarga de definir las acciones al modelo 3D. Este modo de trabajo tiene muchas limitaciones en la interacción usuario-maquina en la experiencia de realidad virtual por el uso de acciones predefinidas [no se suele usar en experiencias complejas de inmersión como el caso de videojuegos]; pero son efectivas al momento de presentar el modelo al usuario ya que no requiere trabajar en un software, motor de desarrollo o conocer un lenguaje de programación, la tarea se simplifica a «subir 3D-mostrar 3D», la plataforma se encarga de distribuir a los diversos dispositivos móviles, HMD u otro periférico.

En el caso de la investigación con el objetivo de circunscribir en el tema motivo de la presente y con la existencia de incontables softwares para realizar sistemas de realidad virtual, en una tabla se alude a softwares utilizados en la manufactura desde la fase de modelado de superficies hasta sistemas que permiten la experiencia de realidad virtual, no se consideran los softwares de audio por no aplicarse en esta investigación.

Tabla 6
Modelado de Geometría 3D

Software	Compañía	Descripción	Características
<i>Inventor</i>	<i>Autodesk</i>	Software CAD 3D de modelado paramétrico, para la creación de prototipos digitales, documentación y simulación de productos [Manufactura digital]	<ul style="list-style-type: none"> - Cuenta con herramientas para el diseño tridimensional, simulación, análisis, visualización y documentación. - Tipo de modelado paramétrico, aunque cuenta con herramientas para modelado de superficies, trabaja ensambles y análisis de números finitos. - Trabaja en entorno colaborativo, con vistas compartidas, datos compartidos e interoperabilidad con BIM. - Se puede integrar planos 2D de AutoCAD y modelos 3D en un único modelo digital. -Rápida exportación de archivos para sistemas de realidad virtual a través de su ecosistema. <p>https://www.autodesk.com/products/inventor</p>
<i>Solidworks</i>	<i>Dassault Systèmes</i>	Software para el diseño asistido por computadora (CAD) especializado en el modelado mecánico en 2D y 3D, a través de sus herramientas permite modelar piezas en un ambiente virtual, trabajar ensambles y realizar planos técnicos en un mismo ambiente de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> - La distribución de herramientas hace que sea muy flexible para los diseñadores. -Dentro de sus herramientas considera el diseño paramétrico y herramientas para el modelado de superficies [con ciertas limitaciones]. - El software permite la evaluación de ensambles y la simulación y análisis de elementos finitos. - Incluye un módulo inteligente que detecta errores en el diseño. - Permite la simulación virtual del modelo en base a situaciones reales, de esta forma se optimiza el desempeño de la pieza. -Tiene un módulo exportador de <i>Extended Reality</i> (XR) de <i>Solidworks</i> CAD que permite exportación rápida para AR/VR/MR/Web. <p>https://www.solidworks.com/category/3d-cad</p>
<i>Fusión 360</i>	<i>Autodesk</i>	Software CAD/CAM/CAE que unifica el diseño, ingeniería y la fabricación digital en una plataforma basada en la nube.	<ul style="list-style-type: none"> - Cuenta con un conjunto de herramientas para el diseño mecánico e industrial en un mismo ambiente de trabajo. - Cuenta con un entorno de modelado flexible, se puede elegir entre el modelado paramétrico o modelado de superficie en un mismo ambiente o trabajar los dos tipos a la vez. - Permite el intercambio de archivos de múltiples plataformas admitiendo más de 50 tipos diferentes. - Cuenta con un módulo de diseño generativo y simulación avanzada. - Permite la gestión integrada de datos. - Se puede acceder a los archivos en cualquier lugar y en cualquier equipo informático, permitiendo el trabajo colaborativo, manteniendo el control de quien da acceso al proyecto y la capacidad de ver los modelos a través de un navegador web. - Cuenta con un módulo de renderizado y visualización, permite la exportación de archivos

			para trabajar con un <i>game engine</i> para realidad virtual. https://www.autodesk.com/products/fusion-360
<i>Autocad</i>	<i>Autodesk</i>	Software CAD utilizado para el dibujo 2D y 3D, AutoCAD es un software desarrollado por Autodesk, cuyas herramientas de diseño permiten dibujar, representar y recrear de forma virtual planos y maquetas.	<ul style="list-style-type: none"> - Línea de aprendizaje sencilla. - Permite trabajar con geometrías 2D y modelos 3D paramétricos, superficies y mallas poligonales. - Permite la automatización de procesos como la comparación de dibujos, bloques, crear planificaciones y otros. - Es considerado un estándar en el intercambio de archivos entre múltiples plataformas. - Trabaja en entorno colaborativo, con vistas compartidas, datos compartidos e interoperabilidad con BIM. https://www.autodesk.com/products/autocad
<i>3Ds Max</i>	<i>Autodesk</i>	Software de modelado tridimensional, animación, renderización y visualización, utilizado en múltiples áreas como la arquitectura, ingeniería, diseño industrial, cine televisión, videojuegos y otras.	<ul style="list-style-type: none"> - Modelado 3d a partir de mallas poligonales, aunque trabaja también con superficies Nurbs. - Cuenta con una pila de modificadores que permite un rápido y flexible modelado. - Modulo avanzado de edición de materiales, texturas y colores que permite trabajar con mapas avanzados y trabajar texturas en mapa de bits y procedurales rápidamente. - Integración con muchos motores de renderizado multiplataforma. - Utiliza el renderizado Arnold GPU para visualizar los cambios en la escena en tiempo real. - Cuenta con herramientas para la animación y efectos especiales. - Permite la exportación rápida de archivos para la integración a realidad virtual. https://www.autodesk.com/products/3ds-max

Tabla 7
Integración con dispositivos [game engine]

Software	Compañía	Descripción	Características
Unity	Unity Technologies	Unity es un motor de videojuegos en tiempo real que permite la integración de modelos 3D para crear experiencias inmersivas e interactivas a través de su plataforma completamente visual. Cuenta con un entorno de desarrollo integrado completo (IDE) con un editor integrado, flujo de trabajo de activos, generador de escenas, secuencias de comandos, redes y más.	<ul style="list-style-type: none"> - Unity ofrece una curva de aprendizaje fácil. - Permite una rápida organización y agrupación de escenas en el espacio de trabajo, mediante el uso de su editor. - Desarrollo de experiencias de realidad virtual en pocos pasos. - Permite utilizar una gran variedad de <i>scripts</i> y personalizar funciones a través de lenguaje de programación C/C++ - Multiplataforma de publicación. - Herramienta dedicada para la creación de contenidos en 2D y 3D. - Importación de modelos, texturas y animaciones de múltiples plataformas. - Permite construir escenarios para la inserción de modelos 2D y 3D. - Integración con motores de física NVIDIA(r) PhysX(r) y Box2D. - Permite la iluminación de sombras en tiempo real. - Herramienta <i>Particle System</i> para la simulación de líquidos, llamas y nubes. <p>https://unity.com/</p>
Unreal	Epic Games	Unreal Engine es un motor de videojuegos que incluye herramientas para construir videojuegos, simulaciones o realidad virtual, dentro de sus módulos cuenta con un editor de video, estudio de sonido, renderizado de imagen y herramientas de programación para realizar acciones o crear interacción e interactividad.	<ul style="list-style-type: none"> - Calidad grafica superior a software similares. - Soporta el lenguaje C++ para la creación de proyectos de gran envergadura y que demandan complejidad. - Cuenta con sistema de efectos de partículas para la creación de explosiones, niebla, humo y fuego. - Trabaja con <i>Substance Painter</i> y <i>Designer</i> para la generación de materiales PBR que están basados en física, de esta forma se logra el hiperrealismo. - Trabaja en tiempo real. - El modo de programación es nodal, de esta forma permite el trabajo de no programadores en proyecto. - Multiplataforma y soporta el trabajo de grandes grupos de programación. - Fácil exportación a múltiples plataformas de distribución. - La curva de aprendizaje es difícil y complicada. <p>https://www.unrealengine.com/</p>

Tabla 8
Plataforma de distribución [Cloud]

Plataforma	Compañía	Descripción	Características
Unity Cloud Build	Unity Technologies	Plataforma que permite almacenar los proyectos en la nube, para que el usuario pueda verlos en cualquier lugar, soporta varios hardware de realidad virtual.	<ul style="list-style-type: none"> - Flujo de trabajo automatizado que permite crear copilaciones en la nube. - Copilación concurrente que permite copilar múltiples proyectos para diversas plataformas. - Toda las copilaciones de los proyectos se guardan en la nube. - Admite proyectos de realidad virtual. <p>https://unity3d.com/es/unity/features/cloud-build</p>
Amazon Sumerian	Amazon	Es una plataforma basada en <i>cloud computing</i> para albergar a sus proyectos de realidad virtual y su distribución a usuarios finales.	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil implementación. - Cuenta con escenas preconfiguradas y paquete de recursos. - Se pueden trabajar las luces de escenario directamente en la plataforma. - Permite la configuración de texturas. - Permite la importación de elementos como muebles, materiales, etc. - Tiene un editor de API de <i>scripting</i> llamado <i>State Machine</i> que permite la creación de escenas dinámicas destinadas a la interacción del hombre-máquina. - Permite el control de cámaras, animaciones e integración con comandos de voz. - Tiene un entorno visual de arrastrar soltar con acciones predefinidas. - Integrada con los servicios AWS de <i>Amazon</i>. - <i>Amazon Sumerian</i> permite la distribución a todas las plataformas y con soporte a la mayoría de los dispositivos de realidad virtual. <p>https://aws.amazon.com/es/sumerian/</p>
Oculus / Cloud Storage v2	Facebook	Sistema de almacenamiento en la nube para proyectos de realidad virtual, trabaja con hardware <i>Oculus Rift, Oculus Quest, Oculus Go, Samsung Gear VR</i> y compatibles.	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere implementación de desarrollador avanzados. - Solo funcionará en aplicaciones VR donde el desarrollador integre la API. - La API admite máximo 100 archivos por usuario y aplicación con un valor de hasta 10 MB. - Sincronización en la nube multiplataforma, permite que el desarrollador implemente un proyecto para varios dispositivos en varios OS. esto permite que un usuario comienza con un hardware determinado y puede continuar usando el sistema de realidad virtual en otro y desde donde se quedó. - Permite que la aplicación funcione <i>offline</i> si esta ha sido descargada al disco duro del dispositivo. <p>https://dashboard.oculus.com/myapps/</p>
Azure Mixed Reality / Azure	Microsoft	Servicio de desarrollo y almacenamiento en la nube para	<ul style="list-style-type: none"> - Permite crear aplicaciones de realidad mixta y su distribución para los <i>HoloLens</i>. - Permite el almacenamiento de proyectos de realidad virtual [distintos hardware], pero

<i>Spatial Anchors</i>	proyectos de realidad virtual y mixta.	<p>requiere de la implementación del programador a través del SDK proporcionado.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permite la colaboración entre multiplataformas. -Admite aplicaciones con <i>Unity</i> o con SDK nativo del dispositivo. - Contiene plantillas de inicio para <i>HoloLens</i>, <i>Unity</i>, <i>iOS</i> y <i>Android</i>. - Integración con los servicios de <i>Azure</i>. <p>https://azure.microsoft.com/en-us/topic/mixed-reality/</p>
------------------------	--	--

2.3. Diseño y prototipo virtuales

El diseño es una parte fundamental en la creación de un producto en el ciclo de vida (PL) de este, Morris (2009) define el diseño como esencialmente «la generación y desarrollo de ideas de manera eficiente y eficaz a través de un proceso artesanal, que finaliza con la creación de nuevos productos» (p. 22). Con el objetivo de que el producto llegue al mercado y sea adquirido por los usuarios.

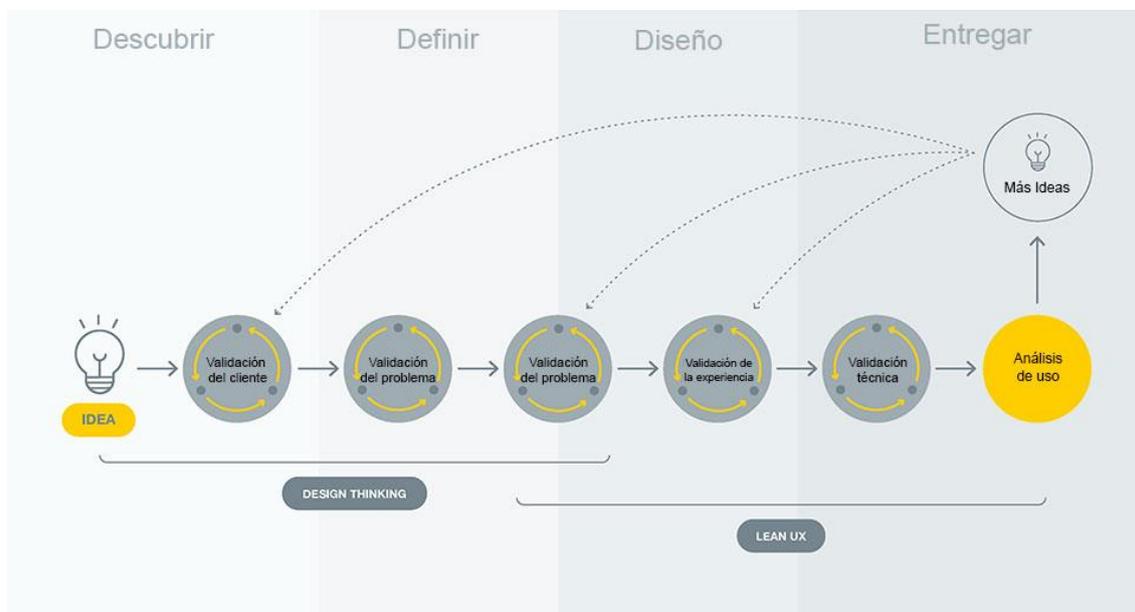


Figura 33. Fases del diseño basado en la propuesta de Marko Vuletic. (2019) tomada de Marko Vuletic.

Para que el producto llegue al mercado en sus mejores condiciones, es necesario realizar un producto único, un concepto, un modelo realizado por un diseñador

utilizando herramientas CAD, en el que se analice la posibilidad. El producto inicial se suele establecer a partir de diseños anteriores y de datos heredados de la línea de producción preliminar, en esta fase es altamente primordial capturar y organizar la experiencia del diseñador con la información que se tiene de antiguos productos, de esta forma se tiene una base que respalde la toma de decisiones de forma discreta para realizar un concepto inicial. Este concepto o modelo inicial es conocido como prototipo, *The Academic Press Dictionary of Science and Technology* (1992) define como: «un modelo estructurado a escala real que se utiliza para evaluar el diseño, el ajuste y el rendimiento» (web) y servirá para la realización de simulaciones de rendimiento, pruebas de fiabilidad y viabilidad de fabricación.

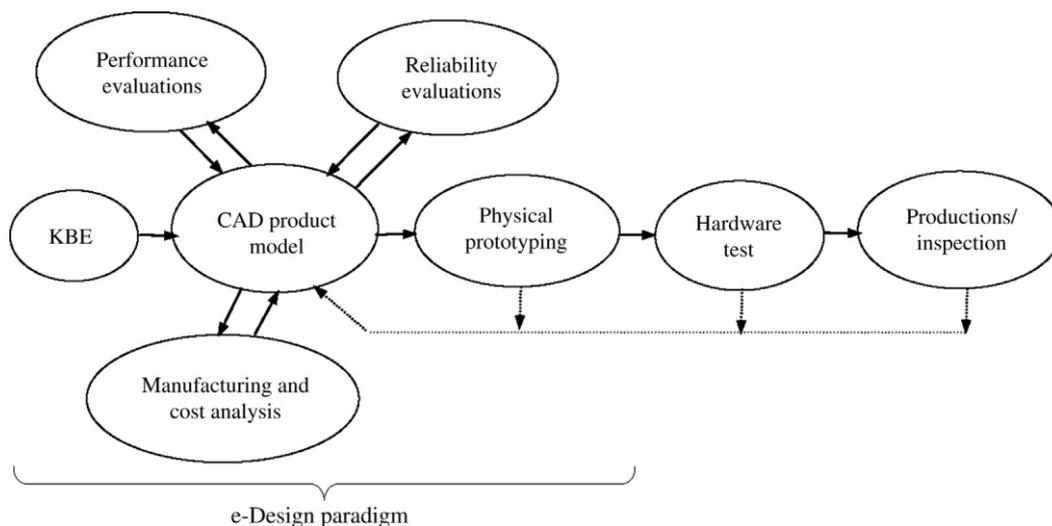


Figura 34. Paradigma del diseño digital propuesto por Kuang Hua Chang (2019). Tomada de Product Design Modeling using CAD/CAE.

El proceso de diseño o concepto únicos utilizando un entorno digital – CAD es conocido como prototipo virtual, se realiza antes del proceso de fabricación del producto y antes de que llegue al usuario final, con el objetivo de evaluar el diseño y resolver problemas antes de que se gasten sumas muy altas de capital en las líneas de producción y comercialización.

Kalpakjian (2014) sobre el prototipo virtual dice:

La producción de prototipos virtuales es una forma de fabricar prototipos solo mediante programas de cómputo (software); utiliza gráficas avanzadas y ambientes de realidad virtual que permiten a los diseñadores examinar una parte. Esta tecnología se usa en los paquetes comunes y convencionales de CAD para reproducir una parte, de manera que el diseñador pueda observarla y evaluarla conforme se dibuja. (p. 594)

El prototipo virtual tiene la ventaja de visualizar todas sus partes y en múltiples vistas en una pantalla de computador, para que esta operación ocurra se utilizan programas complejos y rutinas de gráficos tridimensionales conocidos como software para diseño asistido por computadora – CAD.

En la investigación *Definition and Review of Virtual Prototyping*, Wang (2001) define:

El prototipo virtual o maqueta digital, es una simulación realizada por computadora de un producto físico que puede ser probado, analizado y presentado desde aspectos relacionados con el ciclo de vida del producto: el diseño/ingeniería, fabricación, servicio y reciclaje, tal como si se tratara de un producto real. El proceso de construcción y prueba de un prototipo virtual es nombrado prototipado virtual (p. 4).

Wang, con esta definición realiza un contraste entre prototipado virtual y prototipo virtual. El prototipado virtual incluirá en su proceso la creación y el testeado de un prototipo virtual, que muestra las funciones y la interacción humano-producto. El

prototipo virtual se va completando a medida que se integran todos los datos del diseño conceptual, mecánicos y eléctricos.

El prototipado virtual es el diseño del prototipo virtual que proporcionará a los departamentos de diseño, ingeniería y manufactura, la capacidad de explorar un producto de forma virtual -el más cercano- en una pantalla del computador e integra para los análisis el uso de visualizaciones de datos científicos, representación y generación de animaciones, representaciones digitales interactivas antes de que el producto sea fabricado; con los prototipos virtuales los fabricantes pueden crear, validar, optimizar y gestionar los diseños desde la fase conceptual hasta el proceso de producción.

Cardona (2007) a partir de la definición de Wang, dice que para que un prototipo virtual sea considerado completo se deben considerar tres tipos de modelos (p. 21):

1. Un modelo sólido tridimensional, por lo general se realiza un producto digital en base al modelado paramétrico o modelado de sólidos, utilizando un software potente.
2. Un modelo de interacción persona-producto, el producto digital debe ser manipulable, visto y oído por todos los que están inmersos en el proyecto.
3. Modelo con varias perspectivas para prueba, varios tipos de modelos, de esta forma poder someter el prototipo a pruebas y análisis.

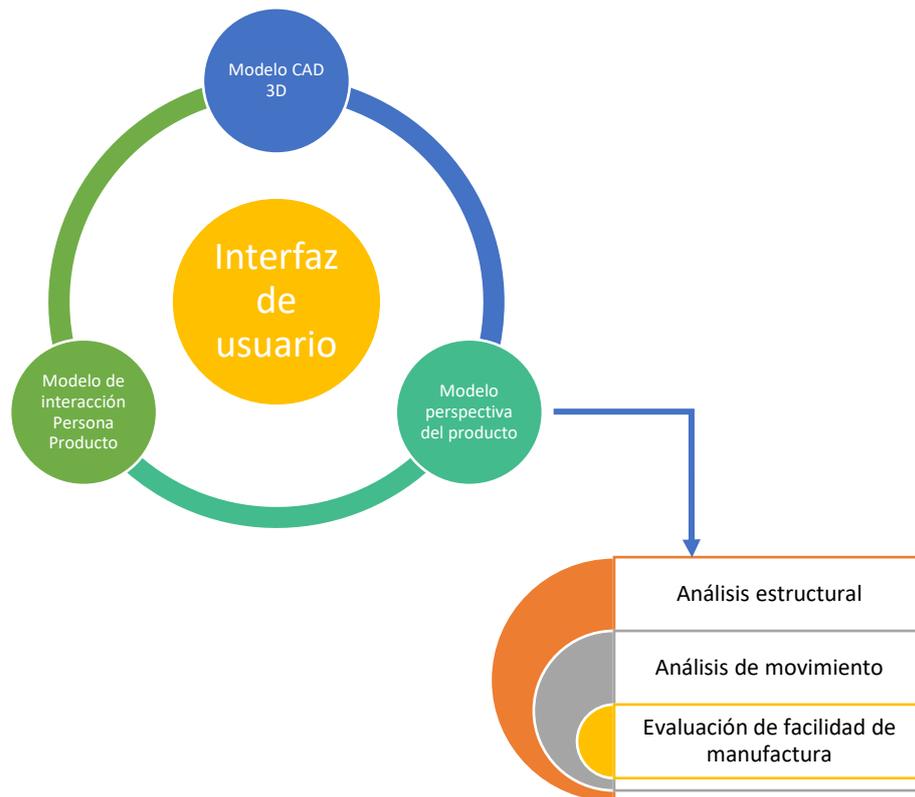


Figura 35. Componentes de un prototipo virtual propuesto por Wang (2018). Adaptada de Definition and Review of Virtual Prototyping.

La figura propuesta por Wang muestra las interrelaciones de los modelos que sirven para mostrar, analizar y probar el producto digital, la interfaz de usuario sirve como eje integrador, coordinando el comportamiento de los conceptos y proporciona información útil para los usuarios del sistema, «dependiendo de las aplicaciones, un prototipo virtual solo puede incluir un subconjunto de estos componentes» (Wang, 2001, p. 5).

El prototipo virtual o prototipo digital, se va complementando a medida que se van ajustando e integrando todos los datos asociados desde el diseño, componentes eléctricos, mecánicos y accesorios; para que esto ocurra se van analizando los aspectos importantes del modelo 3D CAD, reestructurando la geometría tridimensional, realizando simulaciones progresivas y experimentando los ensambles.

Los prototipos digitales se pueden implementar como integrales cuando se prueban todas las piezas del modelo como único o enfocados, teniendo que desarticular el modelo y analizar solo un atributo en especial, al ser un prototipo virtual se pueden cambiar los parámetros rápidamente para representar una gama de alternativas de diseño, acelerando el proceso de desarrollo.

El punto frágil de un prototipo digital convencional es que tiene una pobre inmersión convirtiéndose en un entorno virtual de sobremesa [tipo de VR según Bolzoni], en el que no se cumple el principio fundamental que es el tener el modelo 3D CAD a escala real y que el usuario pueda interactuar dentro de un EV inmersivo. Al respecto Ulrich y Eppinger (2016) en su libro *Product Desing and development* dicen:

Se requieren prototipos físicos para determinar fenómenos imprevistos, completamente ajenos al objetivo original de la propuesta [...] además dicen que todas las leyes de la física están funcionando cuando el equipo experimenta con los prototipos físicos y el resultado de una prueba puede dictar si una tarea de desarrollo tendrá que repetirse. (p. 299).

Al lograr una inmersión e interacción en la realidad virtual, apacigua esta afirmación y el modelo 3D CAD se ve beneficiado por las características que brinda la realidad virtual especialmente para el diseño, la evaluación, lo ergonómico y estético; así como, la participación constante y en tiempo real del cliente con énfasis en la interacción persona - producto. Una inmersión proporcionará a los diseñadores CAD un fuerte sentido visual, sonoro y táctil de un producto virtual, mejor aún, se podrán realizar todas las pruebas físicas, mejorar la interfaz y análisis de elementos finitos - está implícito que para este proceso es necesaria la utilización de un software CAE, las

características ergonómicas y estéticas pueden evaluarse incorporando al usuario en un entorno virtual que ayudará en el diseño personalizado del producto; la interactividad y prueba de ensambles en un entorno inmersivo facilitará el análisis de viabilidad de manufactura y mantenimiento. Con base en los resultados de esta inmersión se pueden lograr cambios instantáneos del diseño o recomendaciones para la optimización de partes, bien desde el punto de vista del diseño o desde el punto de vista de ubicación espacial.

Al respecto Cardona (2007) citando a Wang dice:

Para que exista un ensamble del modelo dentro de un entorno virtual es necesario cumplir con un mapeo que permitan al equipo de diseño mantener la coherencia y manipulación concurrente del prototipo. Estos lineamientos se basan en los estándares para el intercambio y la representación de datos del modelo y el uso de un enfoque de dirección de datos orientado a objetos, que, sumados al desarrollo de sistema de procesamiento paralelo de alta velocidad, permitirán la generación de aplicaciones en tiempo real. Algunas de las aplicaciones en tiempo real necesarias para lograr un verdadero prototipo virtual incluyen controladores para razonamiento geométrico inteligente, manejo de restricciones y simulación de desempeño dinámico; con ellas, el prototipado virtual se convertirá en una importante e interactiva herramienta de análisis. (p. 22).

En síntesis, el prototipo virtual o prototipo digital, es la parte fundamental en el diseño dentro del ciclo de vida del producto (PL), consiste en construir un modelo paramétrico 3D CAD, con el que se realizarán simulaciones de desempeño, evaluación de confiabilidad utilizando software CAE; además, con este modelo 3D – CAD se

realizarán simulaciones de fabricación, de esta forma se establece rendimiento, calidad y costos mediante el uso de software CAM, es decir, un prototipo digital logra la integración de softwares CAD-CAM-CAE [muchos de los software especializados en manufactura integran estos tres CAx], estas actividades son básicas e involucradas en la creación de un producto, es un diseño sistémico que incluye estudios paramétricos y comprensión del diseño, es indispensable para la toma de decisiones.

2.4. Modelo y análisis 3D CAD

CAD-Diseño asistido por computadora – *Computer aided design*, es la aplicación de equipos informáticos en el proceso de diseño que automatiza las tareas principales empleando técnicas de gráficos por ordenador junto con programas que permiten realizar cálculos, visualizaciones y documentación del producto. Kalpakjian (2014) dice «los sistemas de diseño asistido por computadora (CAD) son herramientas poderosas y se utilizan en el diseño y modelado geométrico de componentes y productos» (p. 1226).

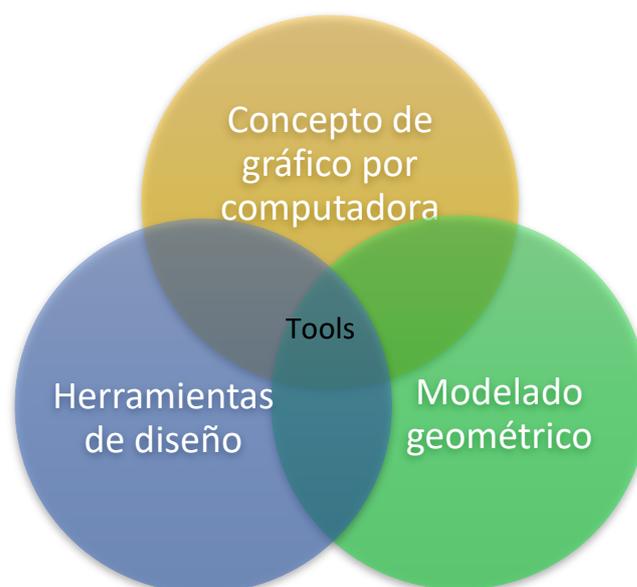


Figura 36. Definición de herramientas CAD basadas en sus componentes (2018). Adaptada de e-design.

Por lo general el CAD [diseño asistido por computadora] involucra la creación de un modelo 3D definido por parámetros geométricos, es decir una grafía matemática tridimensional de un objeto real, estos modelos digitales serán visualizados como una representación tridimensional de una parte o un sistema de partes, los que se rotan en muchos ángulos, que podrán ser modificados fácilmente cambiando los parámetros en cualquiera de las etapas del modelado y los cambios son apreciados inmediatamente.

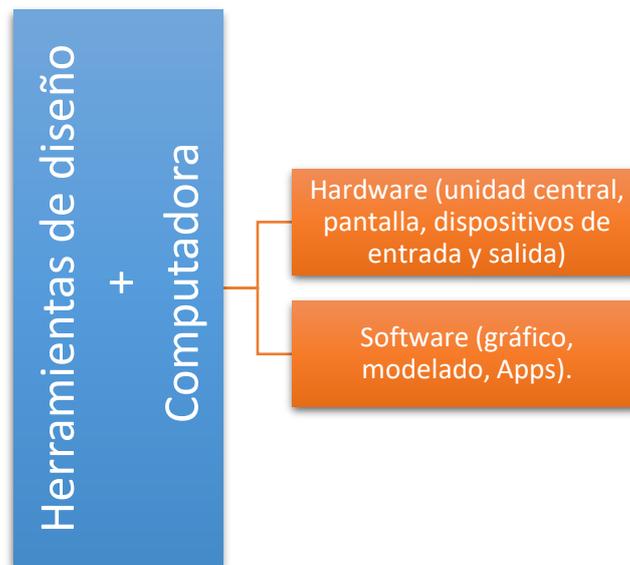


Figura 37. Definición de herramientas CAD basadas en su implementación en un entorno de diseño (2019).

El diseño asistido por computadora CAD, por lo general es sometido a análisis de ingeniería (CAE) para detectar problemas, tales como el exceso de carga, deflexiones o la interferencia en elementos o superficies de empalme durante el ensamble, esta información es almacenada en la base de datos CAD para facilitar el proceso de manufactura (CAM) mediante la transferencia de diagramas detallados de los materiales, procesos, tolerancias y dimensiones de un producto con convenciones específicas del producto.

Tabla 9
Fases del diseño y herramientas CAD

Fases del diseño	Herramientas CAD
Conceptualización del diseño	Técnicas de modelado geométrico, ayuda gráfica, manipulación y visualización
Diseño del modelo y simulación	Los mismo de arriba, animación, ensamble, paquetes especiales de modelado
Análisis del diseño	Paquetes de análisis, programas y paquetes personalizados
Optimización del diseño	Aplicaciones personalizadas, optimización estructural
Evaluación del diseño	Dimensionamiento, tolerancia, lista de materiales, NC
Comunicación y documentación del diseño	Dibujo y detalles, imágenes sombreadas

Nota. Implementación de proceso CAD, herramientas y requerimientos en el proceso de diseño

Kalpakjian (2014) considera cuatro elementos en el proceso de diseño en los sistemas CAD:

Modelado geométrico: en este tipo de modelado, un objeto físico o cualquiera de sus partes se describe matemática o analíticamente.

Los tipos de modelado geométrico son:

Tabla 10
Los tipos de modelado geométrico

Modelado alámbrico	Representación lineal o estructura de alambres
Modelado de superficies	Utilización de curvas <i>Bezier</i> , <i>B-Spline</i> , <i>NURBS</i> , <i>B-Spline</i> o <i>T-Spline</i> , se utilizan curvas de control para la manipulación de la curva o superficie
Modelado de sólidos	Conocido como modelado paramétrico, los datos describen volumen interior, se van combinando geometrías primitivas simples de sólidos como esferas, cubos, cilindros, etc. para desarrollar un modelo complejo.
Otros	<ul style="list-style-type: none"> - Modelos de geometría fractal - Modelos gramaticales - Sistemas de partículas - Modelos basados en características físicas - Modelos para visualización científica

Análisis y optimización del diseño: el modelo realizado a partir de geometrías es sometido a un análisis de ingeniería

1. Revisión y evaluación del diseño: es la verificación de interferencias entre componentes.
2. Documentación y proyectos: después de concluida la etapa anterior se genera la documentación e imprimen los planos de las distintas vistas, secciones de partes, vistas a detalle según las necesidades.

Muchos de los modelos realizados se han convertido en estándar, o son idénticos a los utilizados en modelos anteriores, por lo cual no es necesario volver a modelarlos, de ahí que Kalpakjian (2014) nos dice que:

Los sistemas modernos CAD posean un sistema de administración de base de datos que permite a los diseñadores localizar, ver y adaptar partes de una biblioteca de partes en existencia. Estas se pueden modelar paramétricamente a fin de permitir la actualización efectiva de costos de la geometría (p. 1203)

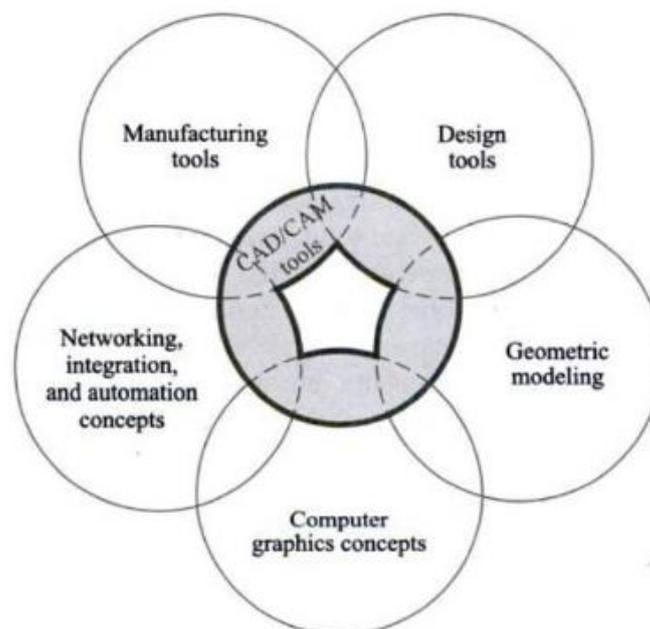


Figura 38. Definición de herramientas CAD /CAM basadas en sus componentes. Tomada de e-design.

2.5. Manufactura virtual

La manufactura virtual (VM) hace referencia a un entorno de fabricación integrado y digitalizado, un sistema en el que todos los principios, actividades y procesos de la manufactura se realizan en un entorno virtual computarizado.

En un sistema de manufactura virtual o manufactura digital, se replican procesos de manufactura de un producto desde su fase de diseño en un ambiente virtual controlado, hasta simulaciones, visualizaciones tridimensionales, evaluación de factores físicos y reales, análisis de desempeño; los que se integran con herramientas colaborativas que ayudan a predecir resultados de acuerdo con los cambios que se realicen a los procesos en la elaboración de un producto, antes de llegar al ambiente real de fabricación.

Al trabajar en un ambiente digital se pueden ejecutar múltiples procesos de manufactura de un producto, reconfigurando el entorno con facilidad y rapidez, de esta forma se puede comparar y seleccionar el proceso óptimo que arroje la máxima productividad y eficiencia.

El objetivo principal de la manufactura virtual es proporcionar un entorno en el que se integren una serie de tecnologías aisladas, como el CAD/CAE diseño asistido por computadora/ingeniería asistida por computadora, el CAM manufactura asistida por computadora y la planificación de procesos asistida por computadora, permitiendo que múltiples usuarios realicen simultáneamente una o varias funciones sin la necesidad de estar presentes en un lugar determinado con el uso de la tecnología.

Cardona (2007) citando a Lin et al. sobre la manufactura virtual dice que el concepto en sí encierra uno mayor, el de la compañía virtual, que es una red de pequeñas empresas multidisciplinarias encargadas de procesos específicos y con

ubicaciones distintas que están conectadas a través de redes digitales y que trabajan en tiempo real con el objetivo de diseñar y producir un producto único, todos estos procesos se realizan en un entorno digital (p. 25).

Con esta tecnología, un grupo de personas o corporaciones pueden aunar sus conocimientos, recursos y capitalizar una oportunidad de mercado, compartiendo información en un entorno de manufactura virtual. La principal ventaja de esta tecnología es su capacidad para proporcionar un entorno multimedia, mejorando la comunicación a todos los niveles en el ciclo de vida de un producto. (Shukla, Vazquez y Chen, 1996, p. 81)

Cardona (2007) citando a Lin et al. propone tres paradigmas para la manufactura digital o manufactura virtual:

1. Manufactura digital o manufactura digital centrada en el diseño: proporciona a los diseñadores las herramientas para diseñar productos que reúnan criterios de diseño.
2. Manufactura digital o manufactura digital centrada en la producción: facilita los medios para desarrollar y analizar métodos de producción y procesos alternativos.
3. Manufactura virtual o manufactura digital centrada en el control: permite la evaluación del diseño del producto, los planes de producción y la estrategia de control y un medio para mejorarlos de forma iterativa a través de la simulación del proceso de control (p. 26).

Al enlazar estos paradigmas sirven como base para analizar la viabilidad y capacidad de fabricación del prototipo virtual. Un índice para medir el grado de factibilidad de fabricación de un producto es el costo, que está influenciado «por la planificación del proceso, la especificación de los parámetros de operación, la planificación y el control

de la producción, la logística, etc.» (Wang, 2001, p. 9). Por lo tanto, para medir con precisión la capacidad de manufactura de un producto virtual, se requieren datos de apoyo de todo el proceso de producción. Como resultado, para apoyar un análisis preciso de manufactura en la creación de prototipos virtuales, la manufactura virtual es fundamental y necesaria.

2.6. La realidad virtual en el proceso de manufactura

Debido al avance significativo de la tecnología en la industria, la manufactura digital [manufactura virtual] se ha convertido en una plataforma frecuente en las grandes empresas, y los sistemas integrados por computadora han logrado eliminar errores en el manejo de datos, «la simulación por computadora utilizando herramientas de modelado CAD y análisis de elementos finitos (FEA) ha ayudado a los ingenieros de fabricación a tomar decisiones rápidas y sin errores» (Nee, Ong, 2013, p. 16). Una tecnología que ha sido integrada a los procesos en el PL es la realidad virtual (VR) cuyo vínculo con la manufactura se fue incubando desde 1960 como herramienta de simulación en el proceso de desarrollo de un producto, acrecentado en estos últimos años con gran énfasis en el diseño, el ensamble y el análisis.

La realidad virtual (VR) como parte de la manufactura, se ha integrado y se va aplicando en todos los departamentos, con el objetivo de mejorar los procesos en el ciclo de vida del producto (PL), «áreas tales como el diseño del producto, modelado, controles de planta, simulación de procesos, planificación de la fabricación, capacitación, pruebas y verificación» (Mujber, Szecsi, Hashmi, 2004, p. 1) utilizan la realidad virtual como eje de integración y validación, combinando información

relacionada con los productos e intercambiando dicha información entre los diferentes actores en el PL [product *lifecycle*].

La manufactura virtual, los prototipos digitales y la realidad virtual son compatibles en el entorno virtual y han logrado mejorar la percepción de los actores que intervienen en la creación de nuevos productos, contando con muchos grados de libertad y de esta forma mejorar la percepción del modelo en el sistema informático.

Ma, Gausemeier, Fan, y Grafe (2011) señalan que se pueden lograr dos objetivos mediante el uso de la realidad virtual:

- Aumentar el grado de libertad para el desarrollo de productos.
- Obtener detalles de alto nivel de información.

De esta manera, en la etapa anterior del desarrollo del producto, se hace más fácil tomar decisiones de pronóstico y optimizar el esquema de implementación. La Fábrica Digital (DF), que integra altamente la información de producción, control, logística, costos y marketing, etc., apoya el desarrollo virtual de productos desde la perspectiva de las operaciones de la fábrica (p. 1)

Entonces Ma et al. (2011) infiere que la realidad virtual tiene una ventaja demostrada y es la de permitir una rápida toma de decisiones a través de una comprensión intuitiva de la situación.

Umar et al. (2017) al respecto dice que «la industria manufacturera está particularmente bien posicionada para aprovechar la reciente aparición de sistemas de VR asequibles basados en estaciones de trabajo estándar o PC» (p. 2). La mayoría de los productos que se encuentran en el mercado a partir de la idea han sido concebidos y existen como modelos de diseño asistido por computadora (CAD) y «la realidad virtual (VR) se vuelve extremadamente poderosa cuando se combina con CAD. Permite

que los ingenieros y diseñadores puedan ver, manipular y modificar diseños complejos, la realidad virtual es capaz de presentar una interfaz realista a un modelo de ingeniería compleja». (Umar et al., 2017, p. 14)

Umar et al. (2017) a partir de varios estudios clasifican la realidad virtual en la manufactura en tres grupos; gestión de operaciones, procesos de fabricación y diseño virtual y creación de prototipos.

a. Diseño virtual y creación de prototipos

La realidad virtual aplicada en el diseño proporciona un entorno virtual para los diseñadores en la etapa conceptual del desarrollo de un producto. Primero, se realizan los modelos tridimensionales para evaluar su factibilidad en un ambiente virtual inmersivo, experimentando su funcionalidad, características mecánicas, ensambles, etc. Finalmente, se realizan las modificaciones según las necesidades y se verifican los materiales sin purificación adicional.

b. Gestión de operaciones

La realidad virtual aplicada a la gestión de operaciones se debe a la necesidad de tener una planificación de fábrica inteligente o la llamada manufactura 4.0, En este entorno la realidad virtual «se aplica para proporcionar un espacio visual tridimensional en el que se explora el efecto de diversas mezclas de productos, programas de inspección y experiencia de los trabajadores en la productividad» (Umar et al., 2017, p. 16).

c. Procesos de fabricación

Según Umar et al. (2017) la aplicación de la realidad virtual en el proceso de fabricación se aplica en tres áreas: el mecanizado, el montaje y la inspección (p. 18).

Mecanizado

En el caso del mecanizado, la tecnología de manufactura virtual y como parte de ella la realidad virtual, se utiliza para estudiar los factores que afectan la calidad del producto, el tiempo que se demorará la máquina en el proceso de desgaste del material hasta la obtención del producto, así como también el movimiento de desgaste de la máquina sobre el material. Todo este proceso en un ambiente semiinmersivo o inmersivo.

Montaje

El ensamble virtual es un componente clave de la manufactura virtual y se define como «las decisiones de ingeniería relacionadas con el ensamblaje mediante análisis, modelos predictivos, visualización y presentación de datos sin la realización del producto o procesos de apoyo» (Jayaram, Connacher, y Lyons, 1997, p. 29), la realidad se usa para realizar operaciones de ensamble y desensamble de piezas, probar su ergonomía, y facilidad de uso.

Inspección

La realidad virtual en el proceso de inspección se utiliza para crear metodologías de detección de errores y cómo se puede utilizar esta tecnología como un instrumento de soporte en la solución, un ejemplo concreto, si una maquina está sufriendo

desperfectos y se encuentra ubicada en otra zona diferente de la base, se puede utilizar un HMD, para enviar indicaciones visuales en realidad mixta y el usuario con poco conocimiento pueda solucionar el desperfecto.

2.7. Proceso de aplicabilidad de realidad virtual en el CAD

a. Modelo propuesto por Choi

Cuando los estudiosos empezaron a investigar sobre un sistema de integración de la realidad virtual en la manufactura, entendieron que la realidad virtual es parte integral y una pieza clave en la manufactura virtual, sea esta inmersiva, semiinmersiva o no inmersiva, Choi (2010) introdujo una metodología de aplicación de la realidad virtual en el proceso de diseño y desarrollo de nuevos productos en la manufactura virtual, tratando de realizar un estándar de aplicación de esta tecnología, Choi parte del punto de que cada empresa tiene una forma particular de aplicar la VR de acuerdo a sus necesidades y sus procesos.

Choi, se propuso y demostró a través de la implementación un marco integrado basado en estándares internacionales, como VRML, X3D, COLLADA y PLM *Services*, que se utiliza para respaldar todo el ciclo de desarrollo del producto. El marco se conectó con múltiples sistemas PLM [*product lifecycle management*] comerciales para recopilar todos los datos de ingeniería, y se generaron prototipos virtuales adecuados en cada etapa de desarrollo de nuevos productos para la aplicación de realidad virtual (Choi, Jung, y Noh, 2015, p. 17).

Tabla 11
Aplicación de realidad virtual (VR) basada en PLM en el desarrollo de productos

	Desarrollo de conceptos (CD)	Diseño a nivel de sistema (SD)	Diseño detallado (DD)	Refinamiento de prueba (TR)	producción ramp-up (PR)
Entrada de datos	Datos CAD	Datos CAD y E-BOM [lista de materiales]	Datos CAD / CAE y E-BOM	Datos CAD y M-BOM (P3R)	Datos CAD y M-BOM (P3R)
Sistema de intermediación	PDM/PLM				
Datos de salida	VRML, X3D, COLLADA				
Tarea	Evaluación de productos que reflejan los requisitos del cliente para determinar el concepto.	Comprobación del ensamble final del producto [maqueta digital]	La evaluación y simulación del producto reflejó la especificación completa de formas y materiales.	La evaluación de productos aplicó el cambio de diseño, la evaluación y la simulación de la planta para producir productos.	Formación de trabajadores basados en la planta virtual.
Efectos	Aumentar la comprensión sobre el producto a desarrollar.	Un prototipo virtual sustituye a un prototipo físico (PP) [reducción en el tiempo de desarrollo y en los costos]	No es necesario fabricar prototipos físicos (PP) caros [reducción en el tiempo de desarrollo y en los costos]	Una planta virtual sustituye a una planta de pruebas [reducción en el tiempo de desarrollo y en los costos]	Incrementar la comprensión de los trabajadores sobre la tarea.

Nota. VR: realidad virtual; CD: desarrollo de conceptos; SD: diseño a nivel de sistema; DD: diseño detallado; TR: refinamiento de prueba; PP: prototipo físico; PR: aumento de la producción; P3R [producto, proceso, recurso, planta]; CAD: diseño asistido por computadora; CAE: ingeniería asistida por computadora; PDM: gestión de datos del producto; VRML: lenguaje de modelado de realidad virtual; VP: creación virtual de prototipos. Basada en la propuesta de Choi (2010)

La metodología de Choi plantea una estructura completa que considera una plataforma principal que lo llama sistema de ingeniería virtual y que consta de cuatro subsistemas constituido por revisión del diseño virtual, simulación virtual, fabricación virtual y un sistema de intercambio de datos [*middleware*].

- Revisión del diseño virtual. En este subsistema se evalúa y valida el diseño del producto mediante la creación de una maqueta digital [DMU- *Digital Mock-Up*], con

el uso de la realidad virtual se manipula esta maqueta digital como si fuera uno real, para probar diferentes diseños y estilos.

- Simulación virtual. En este subsistema se valida la durabilidad y estabilidad del producto, se busca errores de diseño a través de diversas pruebas y se realiza comparaciones en un entorno virtual.
- Fabricación virtual. En este subsistema se simula la fabricación y el mantenimiento del producto en un entorno virtual, en el que los operadores pueden practicar realizando procesos de producción y simulación de reparaciones utilizando sistemas inmersivos con hardware tipo semiesfera y dispositivos hápticos, también permitirá la capacitación con el sistema de realidad virtual.
- *Middleware*. Es el subsistema que se utiliza para el intercambio de información y datos, con el que se construye un banco de pruebas para el diseño y desarrollo de productos, con el que se pueda interactuar en un entorno inmersivo con el uso de la tecnología de la realidad virtual.

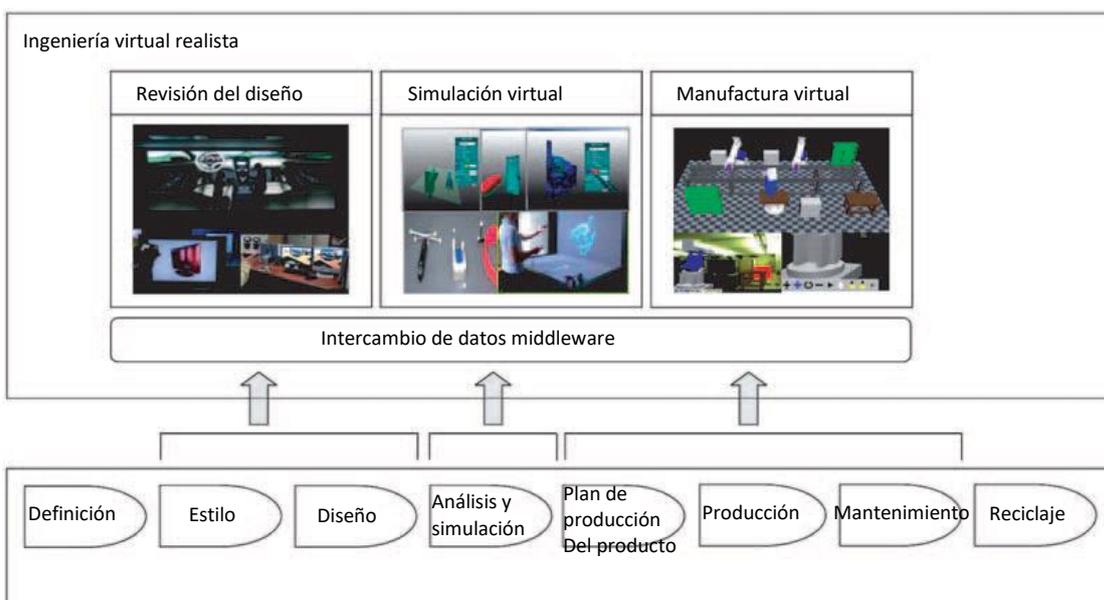


Figura 39. Sistema de ingeniería virtual realista, basado en el modelo de Choi (2015).

Un óptimo intercambio de datos entre el diseño y la fabricación es imprescindible para la manufactura virtual, esta relación se complica con la existencia de múltiples soluciones de software, estructuras de datos y formatos de archivo que incluso no permite su sincronización. «La mayoría de las investigaciones busca la integración entre sistemas CAD y la gestión de datos del producto (PDM), luego el intercambio entre CAD y la realidad virtual» (Choi et al., 2015, p. 23) «Sin embargo, el problema principal está relacionado con la capacidad de intercambio de metadatos e interfaz de productos entre sistemas heterogéneos» (Choi et al., 2015, p. 23) en el que se considere información de materiales de los productos, la información estructural y otros que son necesarios que sean incorporados en el sistema de realidad virtual y funcione en varias plataformas. Choi (2010) al respecto dice: «la comunicación entre plataformas involucradas debe gestionarse a través de una interfaz que interconecte dos sistemas en el momento con el uso de un *middleware* para el intercambio de datos de maquinaria y productos en sistemas altamente inmersivos [MEMPHIS]» (p. 22) y que permita crear y administrar prototipos virtuales mediante el acceso y la homogeneización de la información.

La funcionalidad de la propuesta metodológica de Choi et al. (2015) radica en tener una estructura conceptual y tecnológica que permita instaurar un orden entre las soluciones existentes y la realidad virtual, es decir el *middleware* estará basado en un *framework* que logre la comunicación entre ingeniería [CAD, CAE, PDM] y las tecnologías de la realidad virtual, «un marco integrado que interopere con un sistema PDM, basado en modularidad y estandarización admitiendo una interfaz común» (Choi, 2010, p. 22). Este *framework* servirá como base para ser adaptado a otras experiencias entre la manufactura y la realidad virtual.

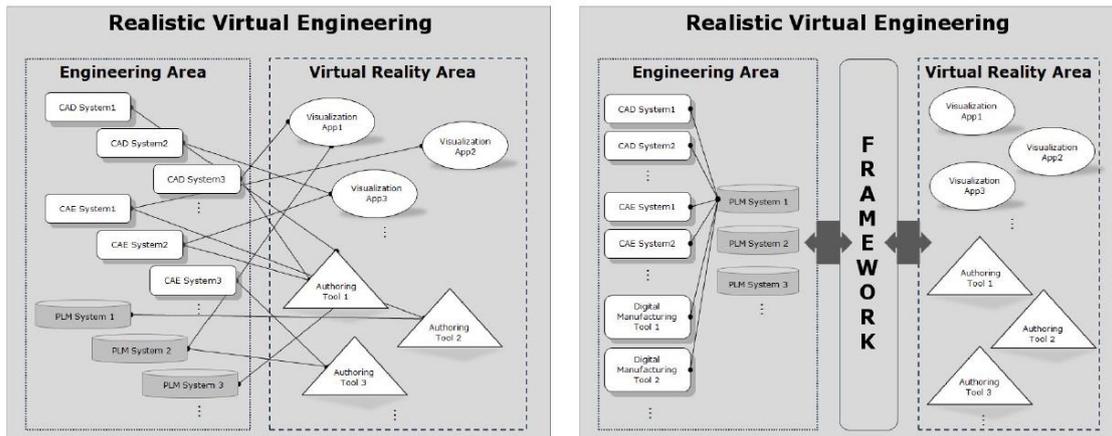


Figura 40. La necesidad de un framework. A la izquierda como es actualmente, a la derecha como debe ser con el uso de framework. Extraída de la investigación de Choi (2010).

Arquitectura del sistema MEMPHIS propuesto por Choi

La arquitectura del sistema de Choi está basada en un modelo Cliente/Servidor, diseñado en un modelo-vista-controlador (MVC), se accede a la gestión de datos del producto (PDM) a través de una capa de acceso de datos,

Aquí se utiliza un conjunto de objetos de acceso a datos (DAO) para recuperar y lograr la permanencia de la información. Se accede a los sistemas PDM mediante su interfaz de programación de aplicaciones (API), la capa de acceso a datos accede y transforma los datos en un modelo interno, los datos CAD y CAE se convierten a formatos de realidad virtual (VR) mediante convertidores especiales para la conversión geométrica y el enriquecimiento, la información específica de realidad virtual (VR) se agrega a la salida geométrica vinculada con los datos del producto de los sistemas PDM. Las heterogeneidades semánticas se resuelven aplicando ontologías a los datos atributivos. MEMPHIS incluye un módulo específico para la seguridad de los datos. Los datos homogeneizados y enriquecidos se envían a varios clientes mediante una interfaz de servicio web unificada, los clientes de MEMPHIS reciben un prototipo virtual que contiene las geometrías enriquecidas para sistemas de ingeniería virtual

realistas y datos de productos que se visualizan en los diversos clientes (Choi et al., 2015, p. 24).

Ventajas del modelo de Choi

- La ventaja de aplicar esta metodología es que proporciona una interfaz comercial CAD/CAE/PDM en manufactura real, por lo tanto, se pueden crear prototipos virtuales realistas mucho más rápido con el cual realizar evaluaciones más eficientes.
- Mediante este sistema se pueden gestionar datos geométricos, materiales, etc. desde la gestión de datos del producto (PDM), por lo mismo los prototipos virtuales se basan en datos de alta calidad y que son utilizables.
- La metodología de Choi fundamentalmente está basada en la comunicación a través de un *middleware* de intercambio de datos estable, flexible y extensible basado en los estándares internacionales que permite soportar sistemas heterogéneos.
- La metodología se puede aplicar en múltiples industrias manufactureras, permitiendo que el diseño del producto se pueda mejorar de forma rápida en un ambiente digital aplicando la realidad virtual para acortar el ciclo de vida del diseño del producto, y que se pueda revisar y evaluar en múltiples tipos y plataformas de realidad virtual.

Desventajas del modelo de Choi

- La metodología es aplicable solo para grandes empresas manufactureras ya que implica un costo alto y elevado en el uso de la tecnología, pero se pueden utilizar

algunos módulos propuestos de forma independiente y su adaptación a los requerimientos de pequeñas empresas.

- El uso de software propietario para la aplicación de la metodología implica un alto grado de conocimiento por parte del personal que interviene en cada fase del proceso.
- Es necesaria la actualización constante del sistema ya que los procesos van cambiando y la tecnología va evolucionando.
- El sistema colaborativo propuesto es agradable para el usuario solo si se cuenta con una alta conexión de datos, si no se perderá información y no se podrá interactuar con el modelo mediante la realidad virtual.
- Se requiere un servidor dedicado dentro de la empresa y que contenga la base de datos con toda la información de los modelos, de esta forma se pueda compartir la generación de datos VR a los usuarios que se encuentren en distintos puntos geográficos.
- Muchas plataformas de distribución de realidad virtual soportan múltiples formatos y archivos nativos que son convertidos a formatos soportados por la tecnología de realidad virtual.

b. Modelo propuesto por Cardona

Cardona propone un modelo en base a su experiencia como ingeniero y catedrático y parte de una estrategia pedagógica «para la enseñanza de la realidad virtual y su aplicación en el proceso de fabricación de productos a través de prototipos digitales» (Cardona, 2007, p. 29).

El proceso se inicia con el análisis del diseño del producto y se proponen mejoras en base al modelado del prototipo digital, este proceso contemplará que el resultado final será manufacturado en una maquina CNC [control numérico computarizado] obteniendo un producto óptimo y funcional.

Al obtener un producto funcional se deben considerar una serie de restricciones en la fase del prototipado virtual, como el ensamble, el material, ergonomía, etc. «de tal forma que el resultado final de esta etapa pueda ser la entrada de la fase del desarrollo del prototipo físico y pueda lograrse la fabricación de todas las partes que lo conforman» (Cardona, 2007, p. 29).

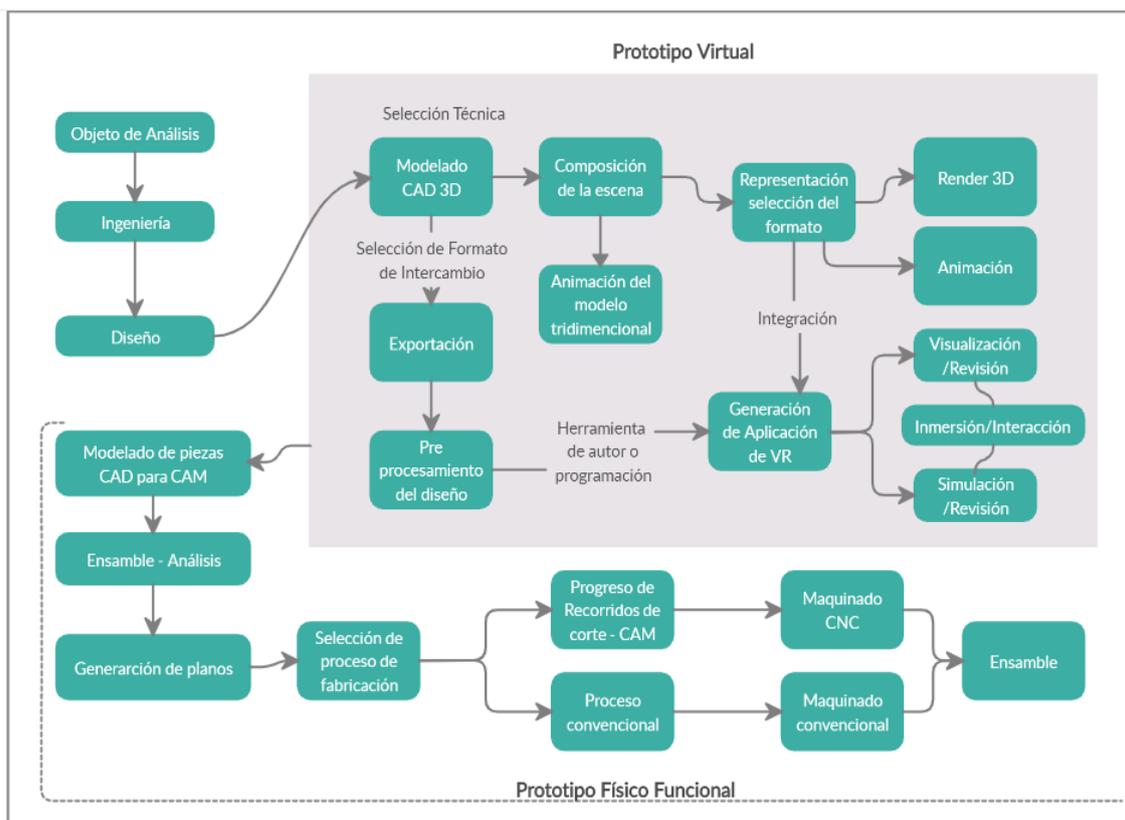


Figura 41. Workflow del modelo propuesto por Cardona de la integración de CAD2VR (2007).

El proceso se inicia con el análisis del diseño, se llevan los diseños a un software de modelado tridimensional para realizar el prototipado virtual, en esta fase se van a

definir las partes, el ensamble y se va definiendo la ergonomía, teniendo en cuenta el propósito del prototipo digital, se precisa el concepto y el uso:

Uso del modelo para representación

Uso del modelo para visualización

Uso del modelo para simulación

Sobre el análisis del diseño Cardona (2007) dice «esta etapa es importante porque es en la que se va a definir según los objetivos del prototipo virtual la técnica de modelado a utilizar». (p. 31), sin embargo, el modelado tridimensional realizado permite una visualización y/o simulación que se puede observar en la pantalla del computador.

En la siguiente fase se define el entorno virtual para la visualización y simulación, en el que el prototipo digital será acondicionado en una etapa de preprocesamiento en el que se reduce la malla poligonal, se realiza un mapeo, se definen los puntos pivots, y el formato final de salida.

Se exporta el modelo de acuerdo con el formato con el que trabajará el sistema de realidad virtual, aquí el usuario define si va a utilizar un software de autor o desarrollará toda la aplicación, dependerá del tipo de control que requiere tener sobre el modelo y su entorno virtual en la visualización y/o simulación.

En la siguiente etapa el usuario precisa si requieren imágenes 3D fotorrealistas, y si es necesario que tenga animaciones, esta etapa de composición de la escena va a servir para adicionar texturas a los modelos tridimensionales, luces, cámaras y realizar animaciones al prototipo digital; finalmente, se genera el render en los formatos necesarios.

Finalizado el análisis del prototipo virtual en un entorno VR, se realizan los cambios necesarios y se generan las propuestas conceptuales del diseño para la construcción física del prototipo.

Ventajas del modelo de Cardona

- El modelo metodológico propuesto es aplicable a Mypes ya que son etapas simples de implementar.
- No es necesaria la utilización de costosos equipos tecnológicos ni contar con servidores de almacenamiento, por lo mismo su implantación no implica grandes gastos.
- Al usar software propietario el equipo no requiere tener grandes conocimientos en programación, por lo mismo, se puede aplicar e implantar en otras Mypes.
- El modelo permite la integración del diseño y análisis con herramientas de simulación, así se evita que se pierdan datos en el intercambio de archivos facilitando el almacenamiento.
- El prototipado virtual se puede analizar de forma instantánea luego de desarrollar el modelo tridimensional y/o exportar a un entorno inmersivo, y analizar si cumple todos los requerimientos como el ensamble, resistencia, ergonomía, etc.

Desventajas del modelo de Cardona

- Este modelo difícilmente se podrá aplicar a grandes empresas, ya que no considera algunas etapas en el proceso de diseño de nuevos productos.

- Considera dos etapas de modelado, un modelado CAD 3D para la visualización/simulación en un entorno virtual y otro modelado CAD para CAM, cuando el mismo modelo tridimensional se podría utilizar en todas las fases.
- En este modelo considera la realización de un prototipo físico, que se podría evitar si se trabaja con un archivo que sea soportado por el software con el que se trabajará el sistema de realidad virtual.
- Dentro del modelo no se considera la visualización inmersiva del diseño CAD en tiempo real en distintos espacios geográficos, sino la generación de un aplicativo que se envía a los usuarios para ser descargado en su computadora y pueda ser analizado, probado y enviar sus correcciones.
- Este modelo considera el intercambio de archivos vía *Web Service*, pero no considera el trabajo en la nube, o el trabajo con plataformas de distribución de realidad virtual que pueden soportar múltiples formatos y archivos nativos que son convertidos a formatos soportados por la tecnología de realidad virtual, permitiendo que el usuario pueda analizar, evaluar y corregir el modelo en un ambiente inmersivo interactivo y en tiempo real.

c. Propuesta de valor a partir de los modelos descritos

Los planteamientos de los modelos metodológicos para la aplicación de sistemas de VR en la manufactura propuestos por Choi y Cardona destacan el diseño CAD y se comprende que esta es la parte más delicada del proceso y las decisiones tomadas a este nivel son cruciales porque afectan el costo y éxito del producto. En la etapa preliminar del proceso de diseño del producto se responde a las necesidades y deseos de los clientes, la sinergia entre diseñadores y usuarios son muy exigentes, estos han

dejado de ser simples consumidores pasando a convertirse en prosumidores, que influyen grandemente en el proceso de diseño de los productos, además de tener diversas y variadas opiniones sobre los productos que van a requerir.

En la etapa del desarrollo real del producto, luego del diseño CAD los ingenieros responsables del proceso de diseño y ensamble deben resolver muchos problemas para adaptarse a las necesidades del cliente, un apoyo importante lo encontraron en la ingeniería asistida por computadora (CAE), que logra que el tiempo del ciclo de diseño del producto se reduzca y disminuya las necesidades de prototipos físicos, es cuando la creación de prototipos virtuales toma protagonismo siendo considerados imprescindibles y encontrando su ventaja funcional al proporcionar respuestas a los principales problemas, pero como se mencionó con anterioridad el inconveniente de la simulación CAE es que aún tiene procesos lentos como el análisis de elementos finitos (FEA) y la interacción de los ingenieros diseñadores con el producto sigue siendo pobre, entonces el prototipo virtual debe integrar técnicas de simulación mucho más reales como es el caso del uso de sistemas de realidad virtual (VR) como métodos de diseño y fabricación, de esta forma se pueden construir prototipos digitales con el objetivo de conseguir visualizaciones inmersivas, verificación y optimización de diseños de productos, junto con evaluaciones de la capacidad de ensamblaje y finalizando con la fabricación del producto/*Ramp-Up*.

A partir de los modelos de Choi y Cardona después de un análisis de procesos se extrajeron secuencias para constituir una metodología que se ajuste a la cadena de procesos de diseño de productos de las Mypes manufactureras, teniendo en consideración todas las limitaciones con las que cuentan, desde factores administrativos, logísticos, tecnológicos y lo fundamental, los recursos humanos, y

tomando como eje el mismo proceso de desarrollo de productos con los que trabajan las empresas manufactureras en PL.

Fases del proceso

El método propuesto se divide en fases que inicia con la definición del problema, para luego pasar a la planeación, para llegar al desarrollo del concepto - CAD, en el que se va a definir el diseño a nivel de sistema y realizar los detalles del modelo, que finalmente se llevará a la conversión de formato 3DCAD a un sistema VR, en el que se procede a realizar el análisis, evaluación y validación del prototipo digital, para finalmente tomar la decisión de rediseño o entrar a fase de producción del producto.



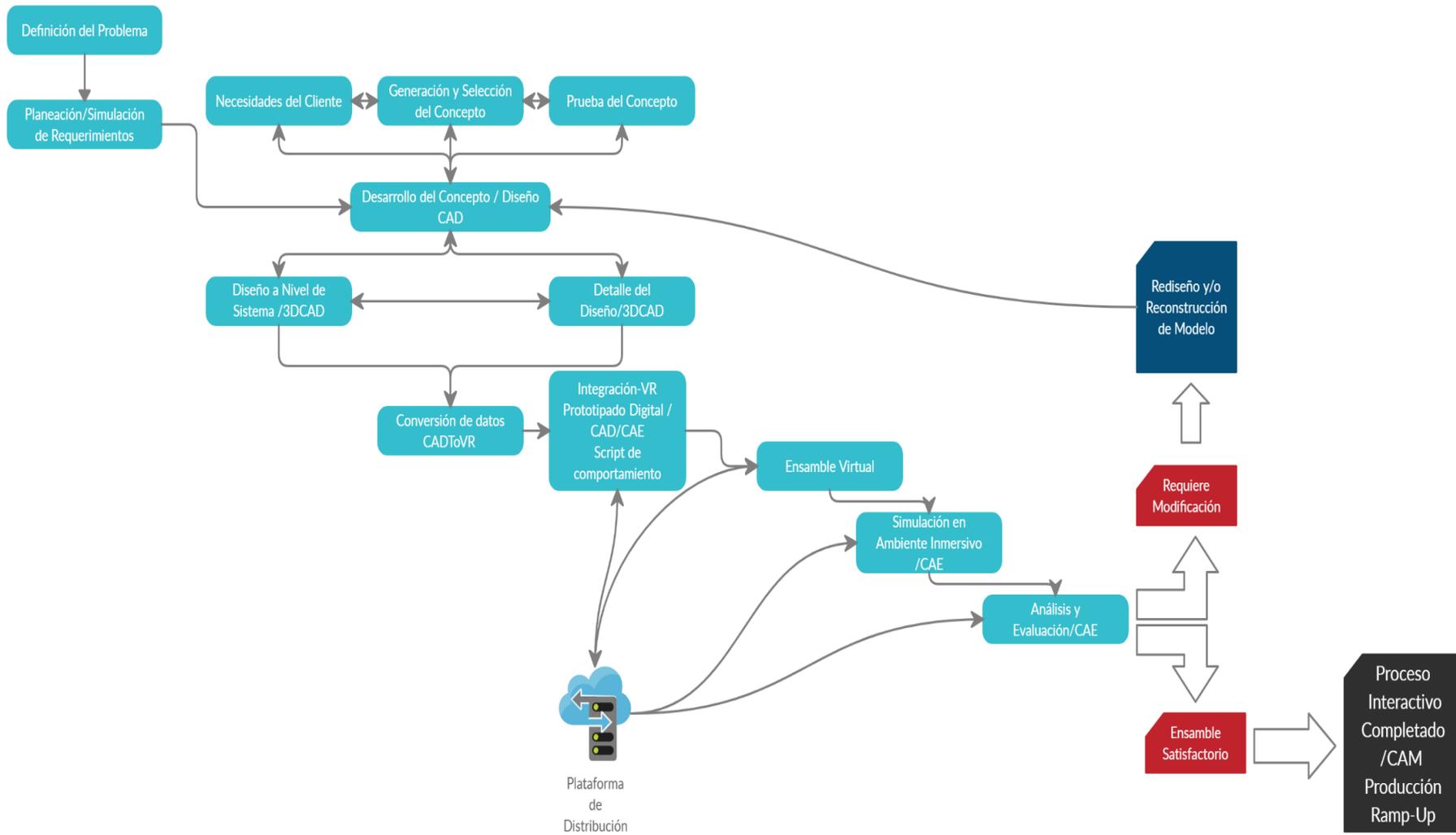


Figura 42. Metodología de aplicación de CADtoVR en el proceso de PL. 

- a. Definición del problema. Se definen las necesidades de los clientes de acuerdo con la experiencia y a las investigaciones realizadas [I+D+i].
- b. Planeación / Simulación de requerimientos. Es la fase en la que se define la misión del proyecto, las estrategias, se evalúan las tecnologías, se precisan los recursos y se realiza una simulación de requerimientos de acuerdo con la arquitectura del producto. Esta fase está en constante reevaluación y se va modificando en función de la información del equipo de desarrollo, investigación, organización, comercialización y servicios.
- c. Desarrollo del concepto. En esta fase se modela un concepto del producto en un software CAD, que describe la forma, función y sus características, se van estructurando los componentes del modelo que van acompañados de un conjunto de especificaciones. Se establecen las relaciones entre las necesidades del cliente la generación del concepto y las pruebas preliminares de lo que será el producto. La fase de desarrollo de concepto tiene una fase relacional y comunicación bidireccional con la fase de diseño a nivel de sistema y los detalles del sistema.



Figura 43. Selección del concepto. Basada en Product Design (2019).

d. Diseño a nivel de sistema. En esta fase 3D CAD se incluye la definición de la arquitectura del producto, se ve la descomposición para que se definan los subsistemas e interfaz, se va refinando el diseño, se realiza la ingeniería preliminar del producto y se esquematiza el ensamble final.

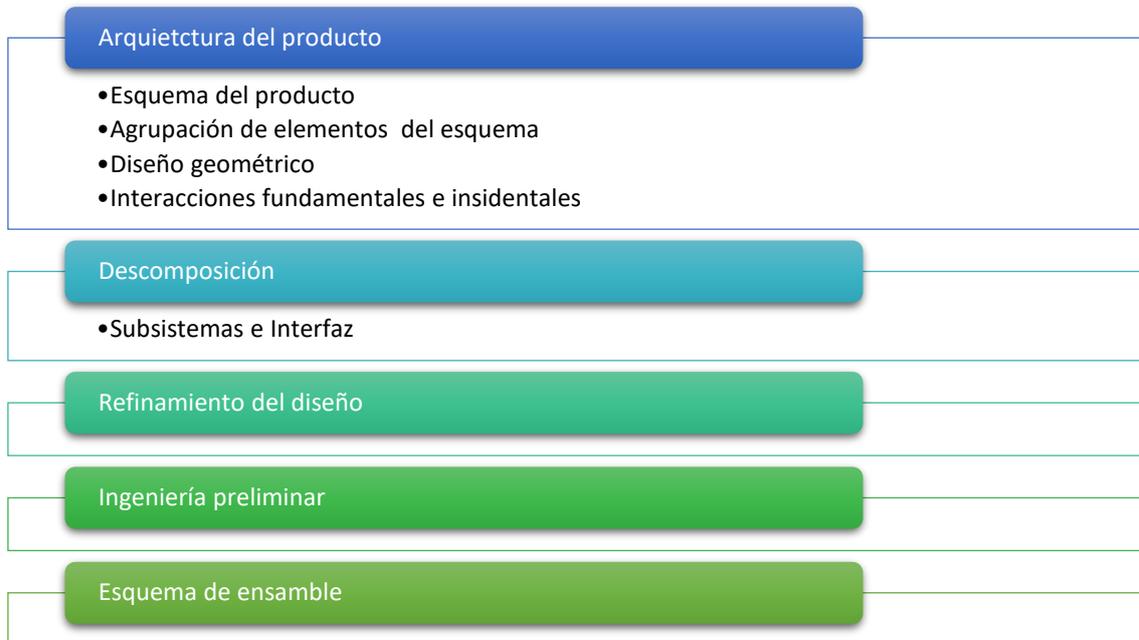


Figura 44. Estructura diseño a nivel de sistema.

e. Detalles del diseño. En esta fase del diseño 3D CAD se dan los lineamientos del prototipo virtual [aunque este se ha ido construyendo desde la fase del desarrollo del concepto], se incluyen las especificaciones completas de la geometría, se colocan los materiales físicos y se prueban las tolerancias de las piezas del producto, esto va a servir para realizar la comparativa de algunas piezas que se van a obtener de proveedores. En esta fase se establece un plan de proceso de fabricación (VM) dentro del sistema de producción. Paralelamente se va desarrollando toda la documentación del producto: planos que describen la geometría de cada pieza del producto, las especificaciones de cada pieza, los planes de procesos y el ensamble del producto.



Figura 45. Estructura del detalle del diseño.

f. Conversión de datos CADtoVR. En esta fase se trabaja con el modelo tridimensional para su conversión a un formato aceptado por un software de integración para VR, este proceso se realiza dependiendo de la información que se requiera compartir en la base de datos, tales como las propiedades físicas del prototipo virtual [el color, la posición, etc.] partes del modelo y la estructura del ensamble. El proceso de esta fase inicia con vincular el formato nativo 3D-de alto detalle con un formato de optimización de mallas poligonales para finalmente vincular con un formato de soporte de VR.

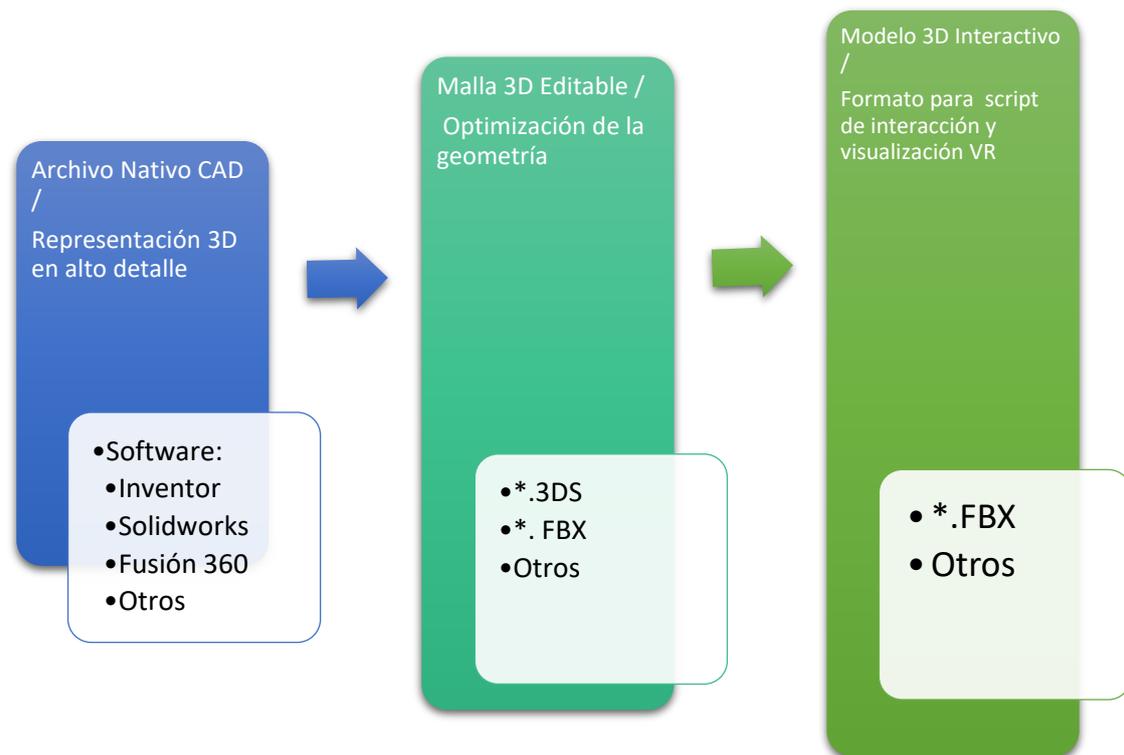


Figura 46. Proceso de conversión de formato CAD To VR.

- g. Integración-VR/ Prototipado digital. En esta fase se inicia el trabajo dentro del software de integración de RV, [*Project Star*] en el que se define la escena, se trabaja el sistema de coordenadas 3D [ejes XYZ] y se vinculan [link] los componentes exportados con la interfaz. En esta fase, también se definen la estética que tendrá dentro del sistema de realidad virtual, por lo mismo se trabajan los materiales, texturas, luces y posibles animaciones vinculadas del formato nativo CAD, se definen las cámaras y los comportamientos y acciones que van a tener los componentes o elementos en el sistema de realidad virtual.
- h. Ensamble virtual. En esta fase se continúa trabajando dentro del software de integración, se establecen las transformaciones y matrices de los ejes de los componentes para que se integren y los ensambles sean funcionales, se realiza una revisión del diseño y se configuran los eventos e interacciones con el uso de *scripts* o *template*. En esta fase se puede realizar un análisis preliminar del producto, ya

que el modelo es proyectado en el monitor y los eventos están activos para ver su funcionamiento en un sistema no inmersivo. En esta fase de ensamble virtual se precisan los periféricos de entrada y salida I/O que se va a utilizar en el sistema de realidad virtual, finalmente se exporta el archivo a la plataforma de distribución que puede ser en un servidor local o en un servidor en la nube, para ser compartido con las personas inmersas en el proyecto.



Figura 47. Fase DMU y ensamble virtual.

- i. Simulación en ambiente inmersivo. En esta fase se simula el prototipo virtual y todas sus componentes, se observa su funcionamiento, que todas las partes encajen de forma correcta y que no exista interferencia entre ellas. Este proceso se realiza en un ambiente inmersivo con el uso de un sistema de realidad virtual.

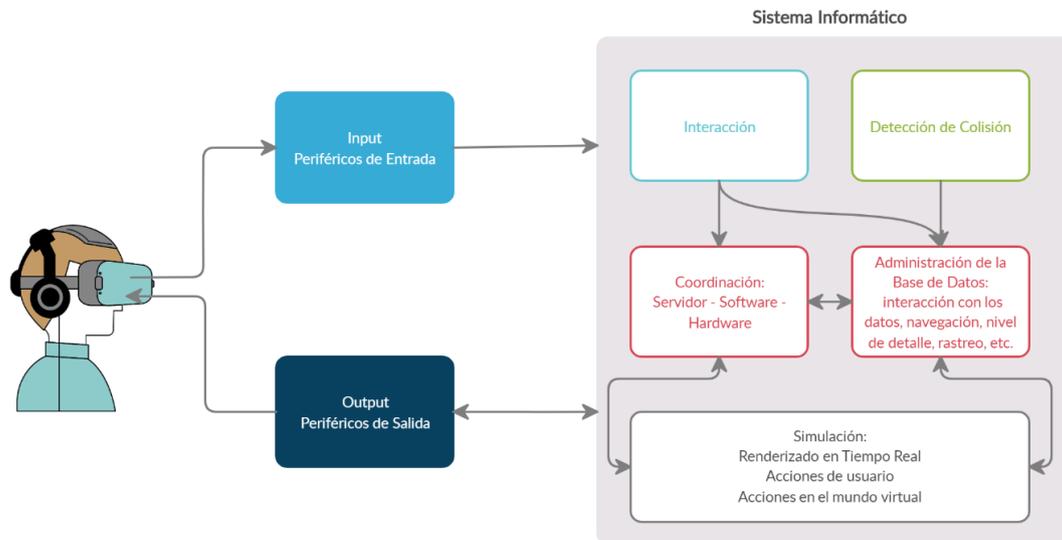


Figura 48. Diagrama del procesamiento en un sistema de realidad virtual. 

j. Análisis y evaluación. En la última fase se analiza el diseño y que las partes no colisionen entre sí, se evalúan las características estéticas probando múltiples características, se verifica la personalización del diseño y finalmente la ergonomía. El objetivo de esta fase es responder preguntas sobre el rendimiento y la fiabilidad para identificar los cambios de ingeniería necesarios para el producto final.

Si cumple todos los requisitos el producto pasará a su fase de producción, en este caso la parte final de la manufactura virtual, de lo contrario si no satisface las expectativas regresará a la fase de diseño de concepto para rediseño o reconstrucción del diseño, y el proceso iniciará desde esta parte.



Figura 49. Cuadro resumen del proceso de NPD - RV.

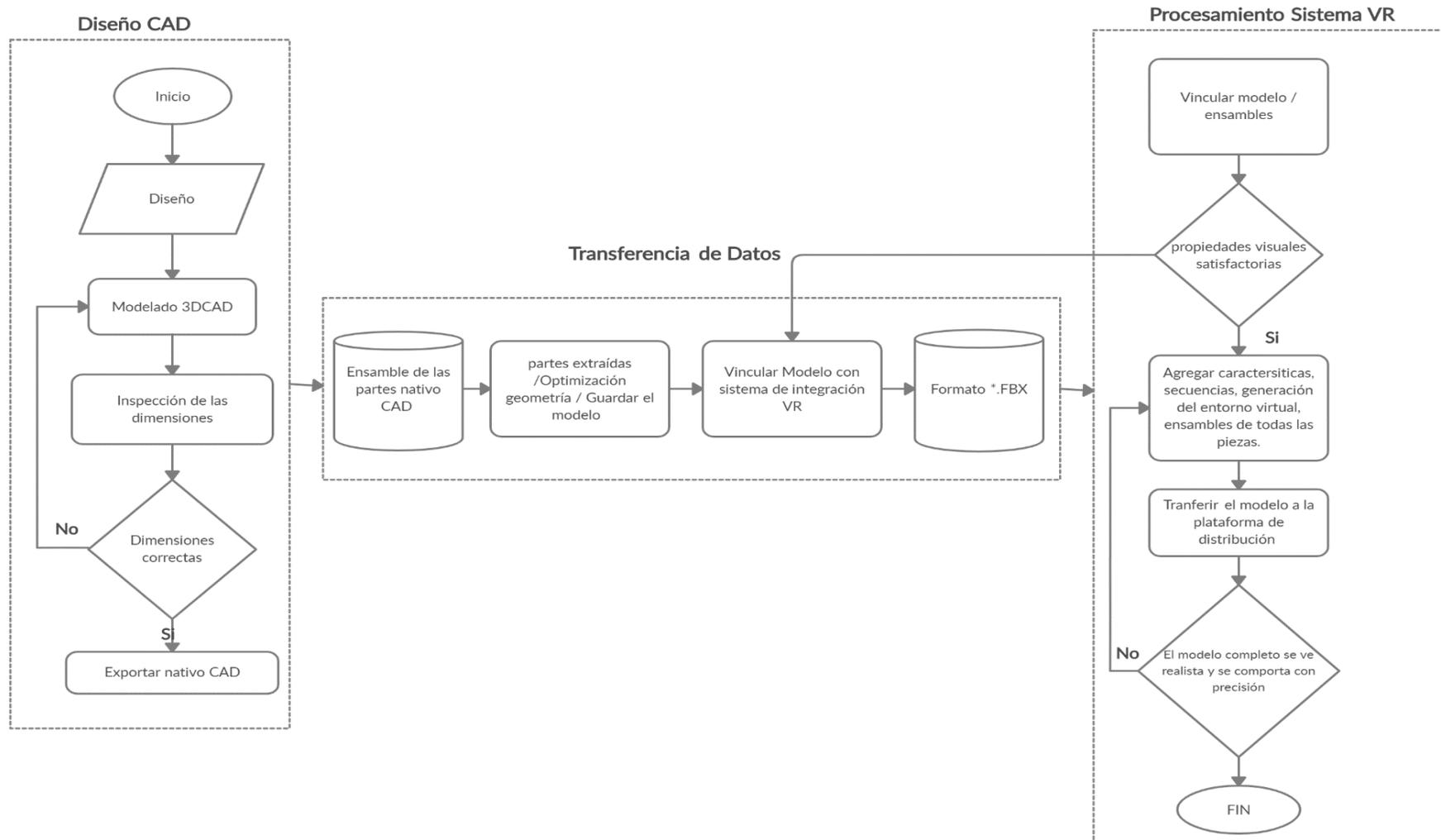


Figura 50. Diagrama de flujo para desarrollar entornos para prototipos virtuales en ambientes inmersivos. 

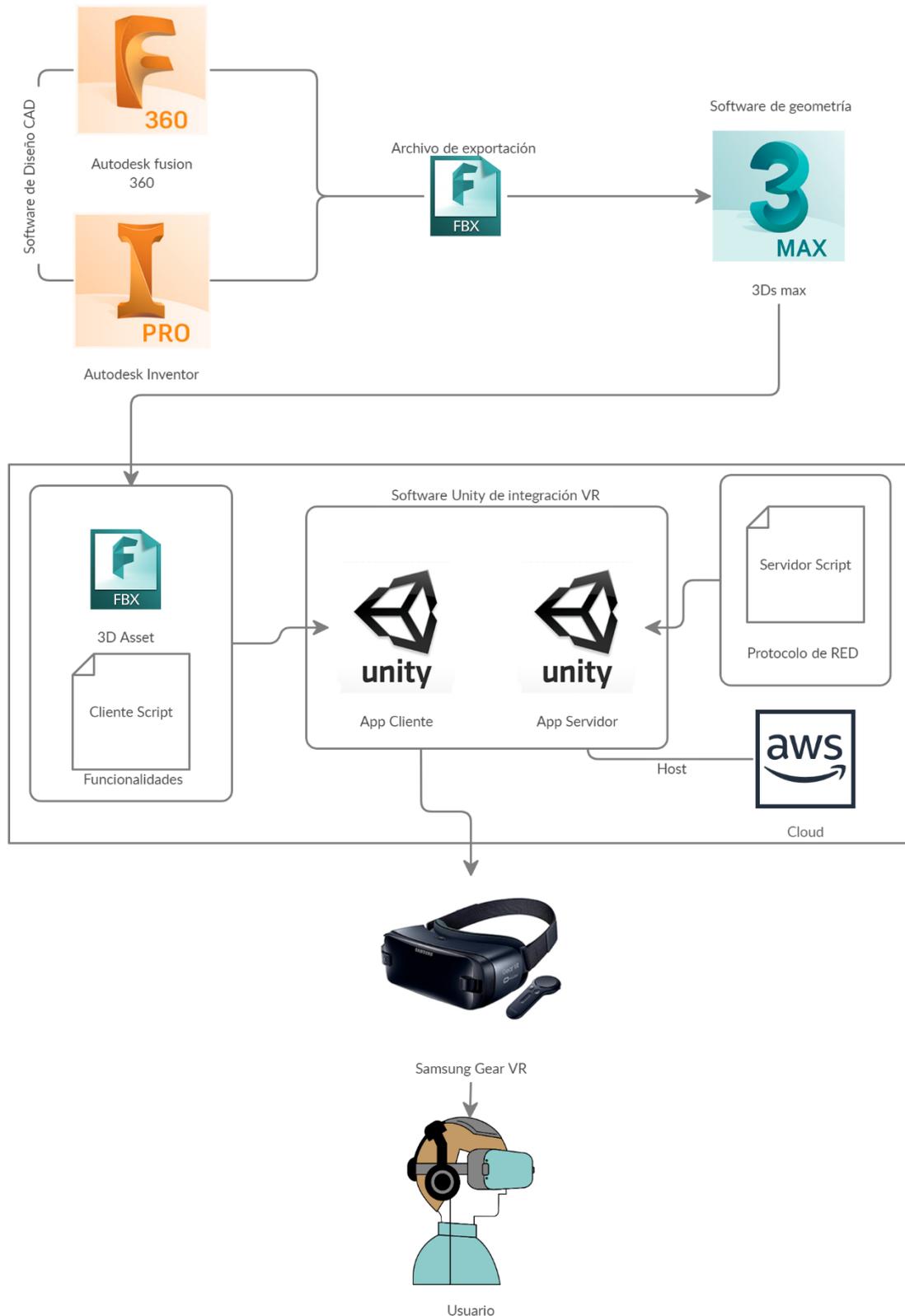


Figura 51. Casuística de uso de software utilizado en la implementación del sistema de VR en el diseño CAD propósito de la investigación. 

2.8. Objetivos de la investigación

a. *Objetivo general*

Implementar un sistema de gestión y visualización de diseños CAD mediante la realidad virtual, que permita experimentar, validar, reducir los riesgos en un entorno inmersivo, interactivo y configurable que disminuya los costos y tiempos en el proceso de desarrollo de nuevos productos.

b. *Objetivos específicos*

- Demostrar que utilizando la realidad virtual en el CAD se podrá obtener información más acertada del concepto de un producto, de esta forma corregir y validar en un entorno inmersivo.
- Implementar un sistema de realidad virtual que logre una mejor interrelación entre el diseño, el análisis y herramientas de simulación.
- Demostrar que un prototipo virtual en un entorno inmersivo facilitará el ensamble y desensamble del producto y verificar su facilidad de uso.
- Determinar que un modelo 3D en un espacio de realidad virtual es más sencillo percibir y juzgar el contexto de profundidad frente a un modelado CAD bidimensional.

2.9. Formulación de hipótesis

a. Hipótesis general

Con la implementación de un sistema de gestión y visualización de diseños CAD mediante la realidad virtual, las empresas de diseño y manufactura podrán experimentar, validar, reducir los riesgos en un entorno inmersivo, interactivo configurable, reducir los costos, tiempos en el ciclo de vida de un producto de manera significativa.

b. Hipótesis específicas

- Con el uso de la realidad virtual en el CAD se podrá obtener información más acertada del concepto, de esta forma corregir y validar en un entorno inmersivo real.
- Al implantar un sistema de realidad virtual se logra una mejor interrelación entre el diseño con el análisis y herramientas de simulación, de esta forma evitar la pérdida de datos en el intercambio entre distintas herramientas tecnológicas.
- Un prototipo virtual en un entorno inmersivo facilita el ensamble y desensamble del producto, verificar la facilidad de uso, incluso si esta es realizada por más de una persona.
- Frente a un modelado CAD bidimensional, en la realidad virtual y en un espacio 3D se facilita percibir y juzgar el contexto de profundidad, además de que en un espacio 3D es deseable una imagen realista y no formas abstractas y geométricas.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

El diseño es experimental, ya que se manipula la variable para ver sus resultados en la muestra, se utilizan tres momentos. En el primer momento se plantea el problema a la muestra con un bajo conocimiento de la realidad virtual (VR), en un ambiente en el que los sujetos se desenvuelven normalmente; segundo momento, se introduce a los sujetos en la realidad virtual (VR) y se vuelve a plantear un problema para que sea resuelto por la muestra; finalmente un tercer momento, en el que se plantea un sistema de trabajo con realidad virtual (VR), se les vuelve a dar un problema para ser resuelto pero con la guía planteada, finalmente se contrastan los resultados al medir los efectos que tendrán las variables, y obtener los resultados de validez de las pruebas realizadas.

3.2. Tipo

EL tipo de investigación es preexperimental, porque solo existe un grupo de experimentación a los que en la fase final se separó en dos para la validación. Además, la investigación es del tipo exploratorio porque se realizó un análisis de la influencia de la realidad virtual (VR) en las empresas de diseño y manufactura. Finalmente, se aplica el tipo de investigación descriptivo, porque al conocer el nivel de conocimiento de la realidad virtual de la muestra es necesario introducir esta tecnología en los recursos mediante el proceso enseñanza – aprendizaje.

3.3. Enfoque

El enfoque de la investigación es cualitativo, se inicia con la observación y análisis del problema en la empresa a partir de las suposiciones establecidas, para establecer un punto de comparación e inicio, de esta forma se propondrán nuevas observaciones y evaluaciones, a partir del contraste entre objetivos e hipótesis.

3.4. Población

La población considerada para esta investigación fueron todos los ingenieros diseñadores encargados del diseño de productos que hacen un total de 10 los que trabajan en la empresa seleccionada.

3.5 Muestra

La muestra fue aleatoria, se seleccionaron 5 recursos como base de investigación.

a. Criterios de inclusión de la muestra

Se consideró:

- Diseñadores CAD
- Ingenieros encargados del proceso de desarrollo
- Ingenieros que tengan que ver con la validación de los productos

b. Criterios de exclusión de la muestra

No se incluyeron:

- Personal administrativo de la empresa
- Personal que no tenga que ver con el proceso de desarrollo de productos

3.6. Operacionalización de variables

Se consideraron como variables:

- Variable independiente:

Sistema de gestión y visualización de CAD utilizando realidad virtual (VR)

- Variable dependiente:

Disminuir costos y tiempos en el desarrollo de productos.

3.7. Técnicas para la recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos fueron:

a. Encuesta

Se utilizaron para evaluar el grado de conocimiento sobre la realidad virtual, si se adaptaron rápidamente a una nueva tecnología, usos de sistemas de gestión para modelos CAD, tipos de software que utilizan para su diseño CAD.

b. Entrevista

Se realizaron entrevistas a los sujetos de investigación para conocer su proceso de trabajo y llegar a un producto nuevo, si tienen algún sistema de trabajo o cómo gestionan sus procesos.

c. Análisis documental

Se revisaron los documentos propios de la empresa, manuales de trabajo para el diseño CAD, guías o manuales.

d. Observación experimental

Se realizaron observaciones en la implementación de la realidad virtual en el proceso del diseño CAD.

3.8. Técnica para el procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos se realizó mediante la tabulación de cada uno de los procesos realizados con la técnica de recolección de datos y el uso de software, así como también se utilizaron herramientas digitales para el análisis de datos y Excel para los cuadros descriptivos y gráficas.

- En el caso de las encuestas se procedió a validar la frecuencia de cada respuesta.

- En el caso de las entrevistas se transcribieron exactamente las respuestas obtenidas.
- En cuanto a la observación se procedió a registrar cada una de las incidencias.

3.9. Aspectos éticos

Para el desarrollo de esta investigación, se contó con los respectivos permisos tanto de la empresa en la que se realizó la investigación y el consentimiento de los sujetos seleccionados para la exploración. Toda persona que tuvo que ver en el proceso de la tesis fue informada con un documento y explicación del proceso de investigación.

Existe el compromiso de confidencialidad del tratamiento de los datos y de los documentos obtenidos en el transcurso de la elaboración de la investigación, y el mantenimiento en anonimato de las personas y sus resultados fuera del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Para la realización y obtención de los resultados de la investigación se consideraron dos ámbitos, un ámbito que consideró los resultados a los cuestionarios realizados a los recursos humanos y el otro ámbito sobre la productividad de los recursos humanos al desarrollar un nuevo producto.

4.1. Descripción breve de la empresa

Los resultados se van a presentar sintetizados en tablas y gráficos de barra, se presentarán los datos obtenidos al inicio de la investigación y luego los datos de los participantes al término del proceso de adaptación tecnológica del sistema de realidad virtual para validar las hipótesis.

Descripción de la empresa:

- Geos Pc Empresa Individual de Responsabilidad Limitada | Geos Pc E.I.R.L.
- RUC: 2050695557
- Razón Social: GEOS PC Empresa Individual de Responsabilidad Limitada

- Nombre Comercial: Geos Pc E.I.R.L.
- Número de empleados: 21
- Tipo empresa: empresa individual de responsabilidad limitada
- Condición: activo
- Fecha inicio actividades: 24 / julio / 2003
- Actividad comercial: manufactura de CASE de computadora, ensamble y venta de equipos informáticos.
- CIU: 51502

4.2. Resultados de inicio de la investigación

A la primera pregunta sobre el puesto de trabajo en la empresa el 40% de los investigados es jefe de diseño técnico y el 60% es diseñador CAD, aunque el jefe de diseño también realiza trabajos de diseñador CAD, ninguno de los entrevistados es responsable de los procesos de producción.

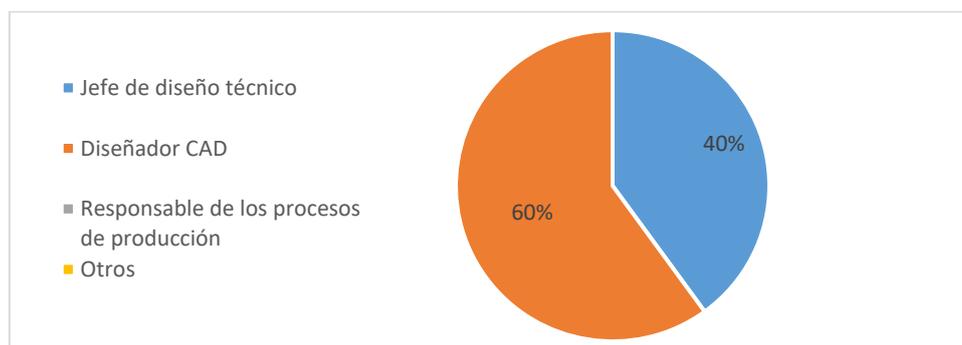


Figura 52. Resultado a la pregunta Puesto de trabajo del personal.

A la segunda pregunta sobre el nivel educativo el 60% de los encuestados tiene educación técnica y el 40% tiene educación universitaria, el 100% de los entrevistados

tienen estudios en manejo de software de diseño asistido por computadora muchos de ellos realizados posterior a su pregrado en instituciones autorizadas.

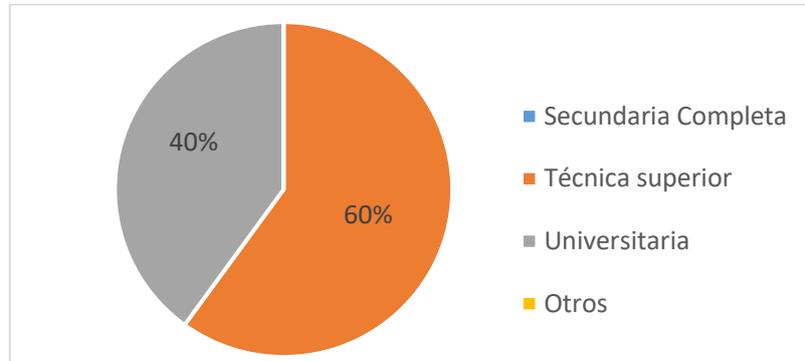


Figura 53. Resultado a la pregunta Nivel educativo de los sujetos de investigación.

En la pregunta 3 y 4 que están vinculadas el 100% de los entrevistados tiene dominio en sistemas CAD y ha recibido capacitación en diseño asistido por computadora en varios softwares, solo el 40% tiene certificación en el manejo de estas herramientas.

En la pregunta 5, en el tipo de software que utilizan para el diseño CAD, la mayoría domina más de un software, tal como se observa en la tabla, la pregunta 6 que complementa a la pregunta, el 40% tiene formación profesional con certificación internacional y el 40% formación superior y, un 20% solo tiene formación básica en la utilización de software CAD.

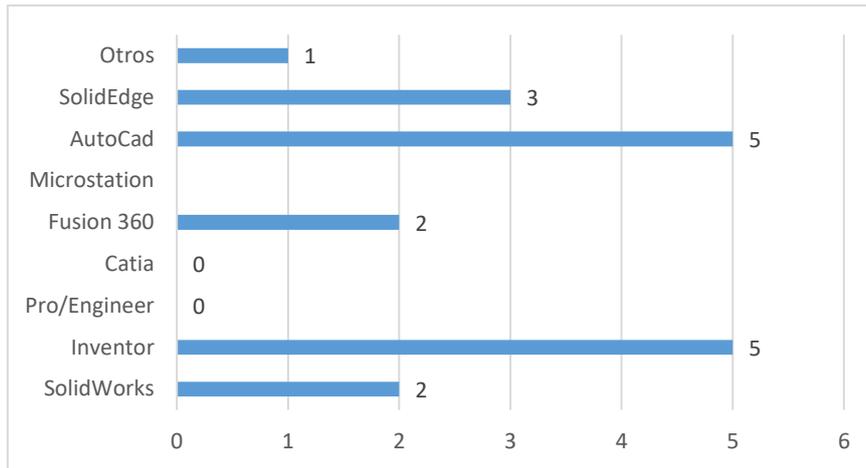


Figura 54. Resultado a la pregunta Tipo de software que utiliza el personal.

A la pregunta 7 que dice en qué dimensiones trabaja, los sujetos de investigación respondieron que 100% trabajan en un ambiente 2D y 3D, utilizan el ambiente 3D para revisar el producto en todos sus ángulos y el 2D para la documentación e impresión de planos, se ratifica con la pregunta 8 que pregunta si en el desarrollo del diseño utilizan varios softwares CAD, la respuesta fue afirmativa en un 100%, todos los sujetos de investigación intercalan entre distintos software para el desarrollo del producto digital.

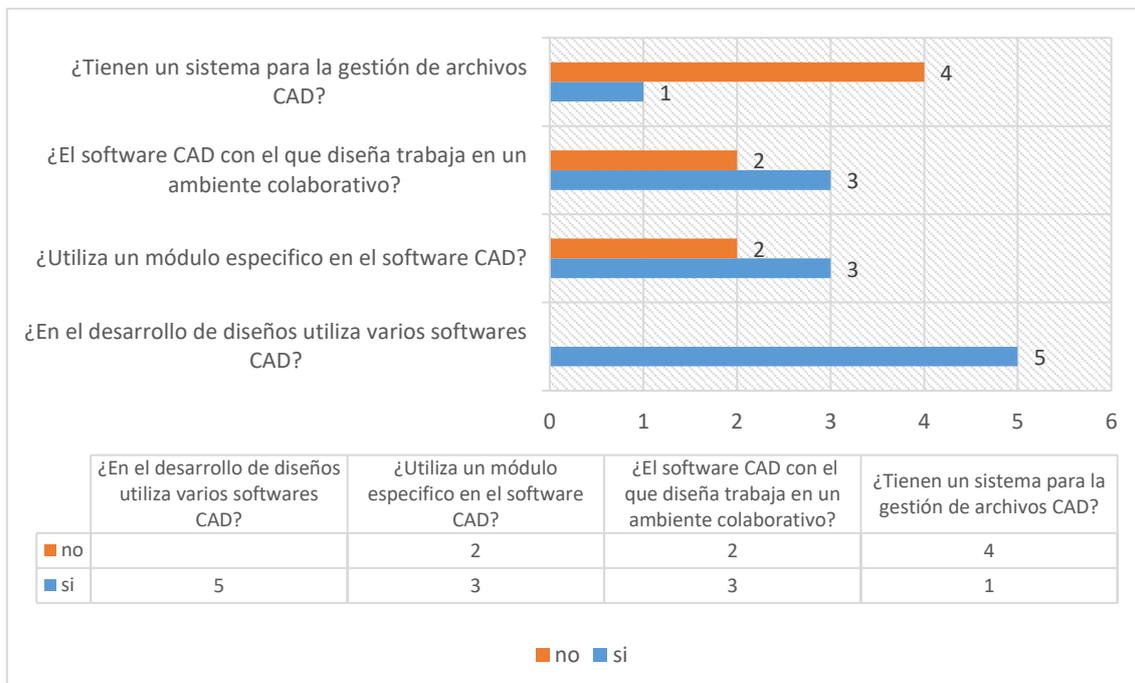


Figura 55. Resultado a las preguntas sobre Diseño CAD.

A la pregunta 9, un 60% utiliza módulos específicos del software para el diseño del producto y un 40% utiliza varios módulos sin especificar en concreto. En la pregunta 10, A la pregunta si el software CAD con el que realiza el proceso de diseño trabaja en un ambiente colaborativo, la respuesta del 40% fue negativa es decir el equipo y software trabaja de forma independiente y utiliza un pendrive o disco duro externo para transferir los archivos; en cambio el 60% de los sujetos investigados utiliza un ambiente colaborativo y utiliza un drive en la nube para el intercambio de archivos y gestión de estos. A la pregunta 10, sobre el sistema de gestión de archivos CAD, 80% no gestiona adecuadamente sus archivos CAD, y tiene sus archivos en carpetas que no guardan relación una con otra, solo el 20% maneja un sistema de gestión, pero no es propio de la empresa, la empresa no cuenta con un sistema de gestión de archivos CAD.

En la pregunta 12, en cuanto a los niveles de satisfacción sobre el uso de sistemas CAD, en la empresa los sujetos de investigación no se encuentran muy satisfechos obteniendo un porcentaje alto de insatisfacción; esto debido a que la empresa no aprovecha los recursos tecnológicos que tiene a disposición.

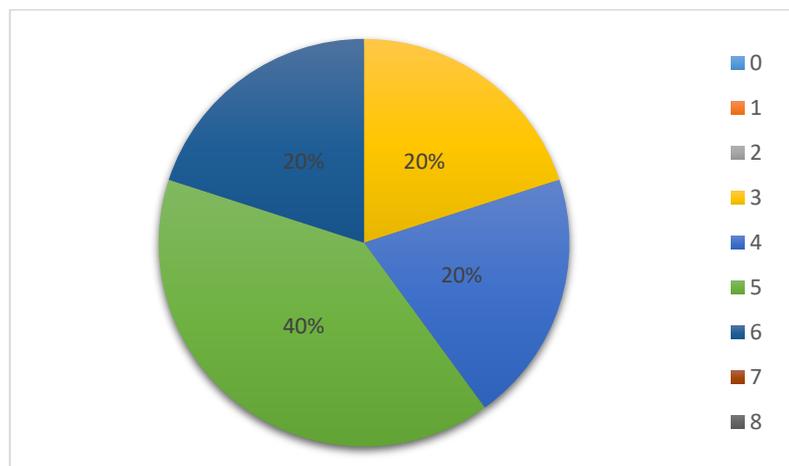


Figura 56. Resultado a la pregunta nivel de satisfacción del uso de los sistemas CAD.

El siguiente grupo de preguntas tiene que ver con la interrelación que existe entre el CAD/CAE para el análisis del producto.

En la pregunta 13 realizada a los sujetos de investigación sobre el uso de CAD/CAE con el mismo software, el 100% respondieron que sí, aunque no todos los diseñadores saben o conocen el uso de herramientas CAE. En la pregunta 14 respondieron al uso que se le da al software CAE, 60% utiliza para el proceso de fabricación [estampación, inyección, forja, otros] el otro 40% no; a la pregunta si utiliza el CAE para análisis de procesos mecánicos o estructurales un 60% respondió afirmativamente y el 40% no; a la pregunta si lo utiliza para circuitos electrónicos la respuesta en el 100% fue negativa; finalmente, a la pregunta si utilizan para el análisis térmico o termodinámico solo un 40% dio por afirmativo y un 60% no lo utiliza para estos fines.

A la pregunta 15, se les preguntó a los sujetos de análisis cual era el objetivo de los análisis; a la pregunta sobre diseño y validación del producto, el 60% contestó que este era su objetivo. A la pregunta si el objetivo era el diseño o la validación del proceso, el 60% contestó de forma afirmativa, a la pregunta si el objetivo era ver temas de ergonomía del diseño, el 100% utiliza para este objetivo y; finalmente, a la pregunta si el objetivo es la gestión de la producción contestaron todos que no.

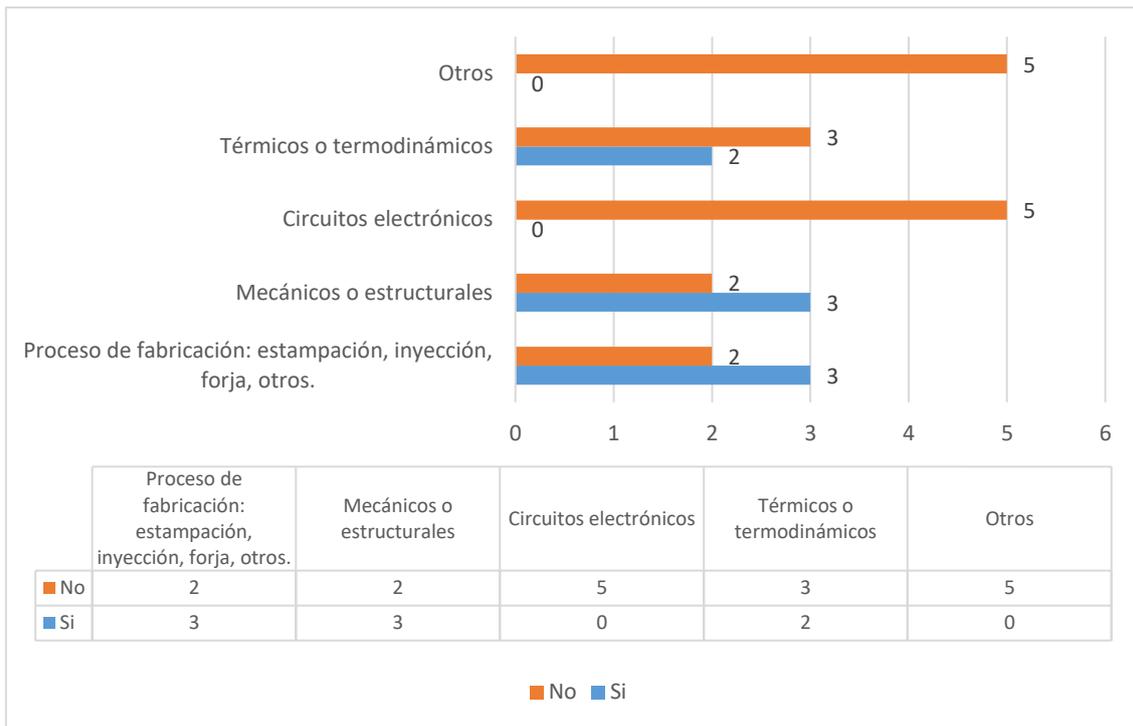


Figura 57. Resultado a la pregunta objetivos de los análisis al modelo 3D.

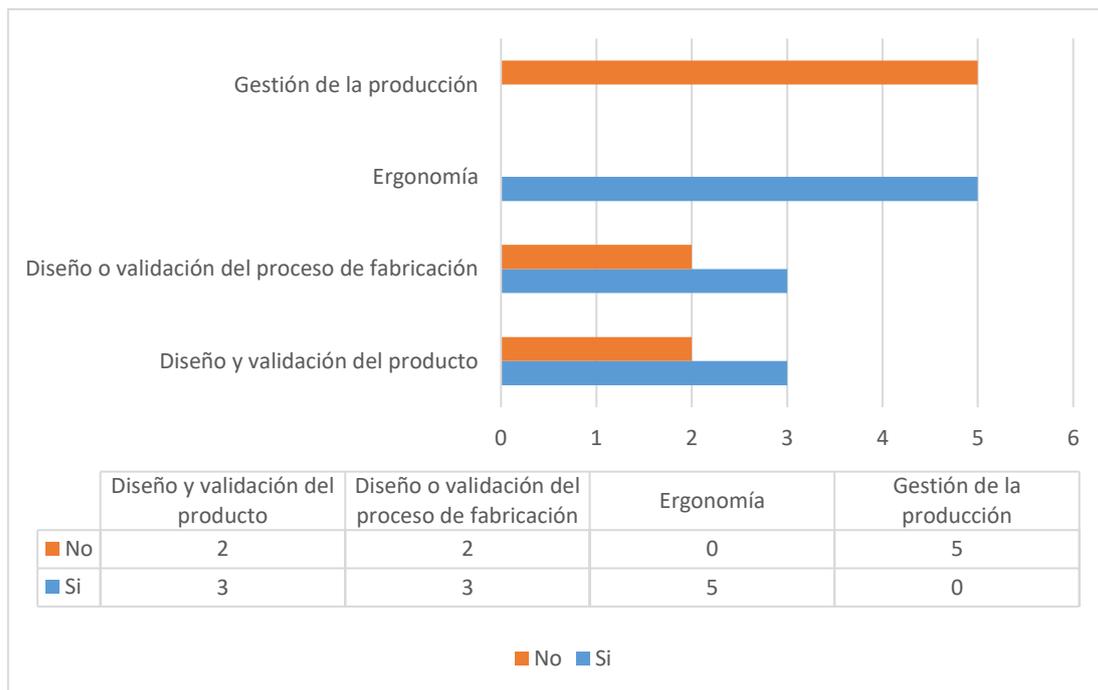


Figura 58. Resultado a la pregunta usos del CAE.

A la pregunta 16, la respuesta es que el 80% realiza la validación de los resultados y el 20% no, ya que no todos dominan todas las herramientas CAE y en algunos casos contratan empresas exteriores que les brindan el servicio.

La pregunta 17 y 18, validan las acciones de la empresa frente al uso de los sistemas CAD/CAE, respondieron a la pregunta de si se encontraba satisfecho con el uso del CAD/CAE que le da la empresa, el 80% afirmó que no le dan un uso adecuado ya que considera que el modo de trabajo de la empresa en el diseño de productos es desordenado y no utilizan ningún tipo de metodología de trabajo.

Los sujetos de investigación respondiendo a las preguntas 19, 20 y 21, responden que la empresa utiliza prototipos físicos, estos prototipos físicos sirven para realizar análisis del producto, ensambles y desensambles, para aminorar costos, estos prototipos son manufacturados por otra empresa, en todos los casos manda a fabricar 3 a 5 prototipos físicos, el tiempo de entrega de recepción de prototipos es de 1 a 3 meses según el tipo de diseño. Los diseñadores sujetos de investigación manifestaron que si el proceso de prototipado físico fuera en menos tiempo facilitaría el trabajo, esto responde a la pregunta 22.

La pregunta 23 que dice si utilizan prototipos digitales, declaran en un 80% que, sí utilizan, aunque no tienen mucha confianza en los prototipos digitales y respondiendo a la pregunta 24 su nivel de confianza es bajo en un 60% y muy bajo en un 40%.

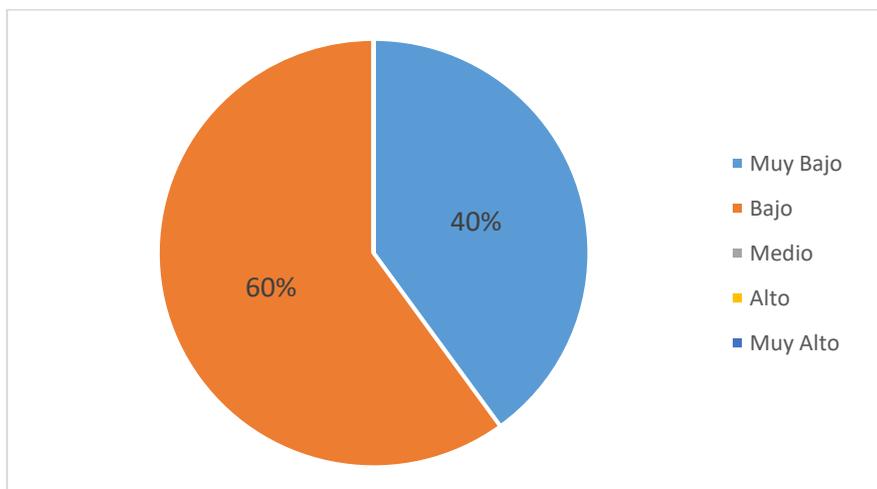


Figura 59. Resultado a la pregunta Usos del prototipo digital.

A la pregunta 25, los equipos tecnológicos utilizado por los diseñadores son solo utilizados para los sistemas CAD/CAE. Respondiendo a la pregunta 26; el 80% de los diseñadores sujetos de investigación considera que la empresa no está en constante innovación, solo el 20% considera que sí se preocupa, pero no responde porque considera que la empresa busca innovar. Los diseñadores sujetos de investigación también indicaron que la empresa no promueve la capacitación en el uso de nuevas tecnologías y solo un 20% indica que sí promueve, además de que la empresa no capacita a su personal, son ellos los que toman cursos sobre su profesión y en el uso de nuevos software y tecnologías. El 100% indica que la empresa debe mejorar sus procesos de diseño y manufactura.

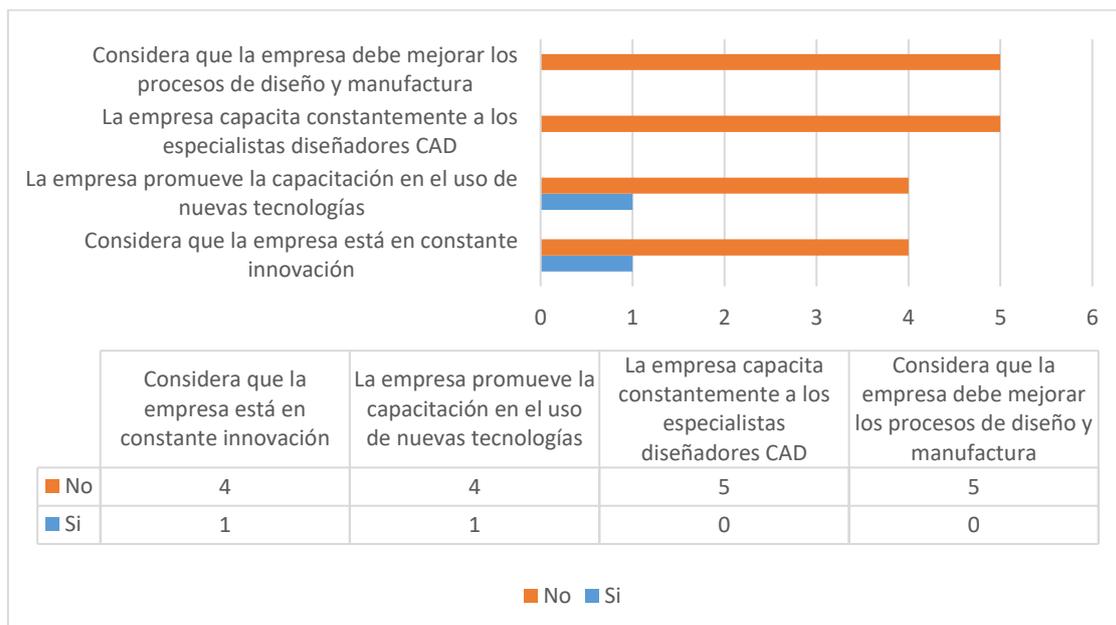


Figura 60. Resultado a las preguntas sobre adaptación tecnológica por parte de la empresa.

En la pregunta 30 que dice si el sujeto de investigación tiene facilidad en adaptarse a una nueva tecnología, todos los investigados respondieron que se adaptan rápidamente a la introducción de nuevas tecnologías, esto se verificó en el desarrollo de un producto e integrando la realidad virtual en el proceso.

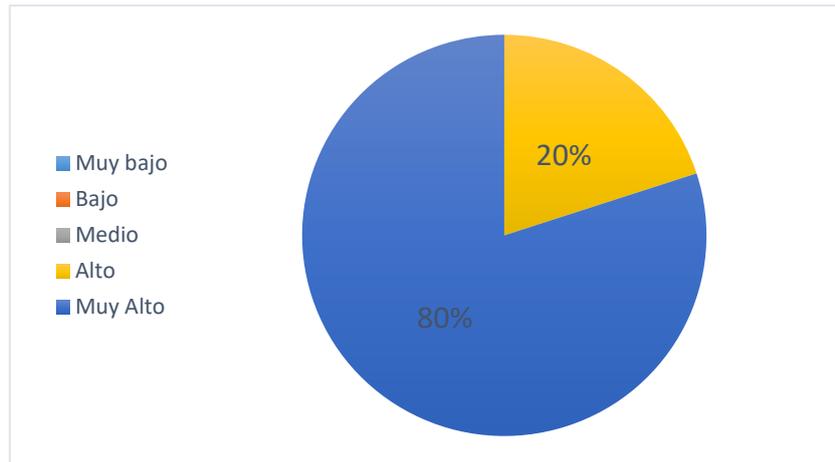


Figura 61. Resultado a la pregunta si el sujeto de investigación se adapta rápidamente al uso de una nueva tecnología.

A la pregunta 31, si el sujeto de investigación utiliza otra tecnología de investigación, todos trabajan con NC/CNC, conocen sobre tecnología CAM, PLM, han realizado ingeniería inversa, aunque no manejan la teoría, y están probando la tecnología aditiva [impresión 3D].

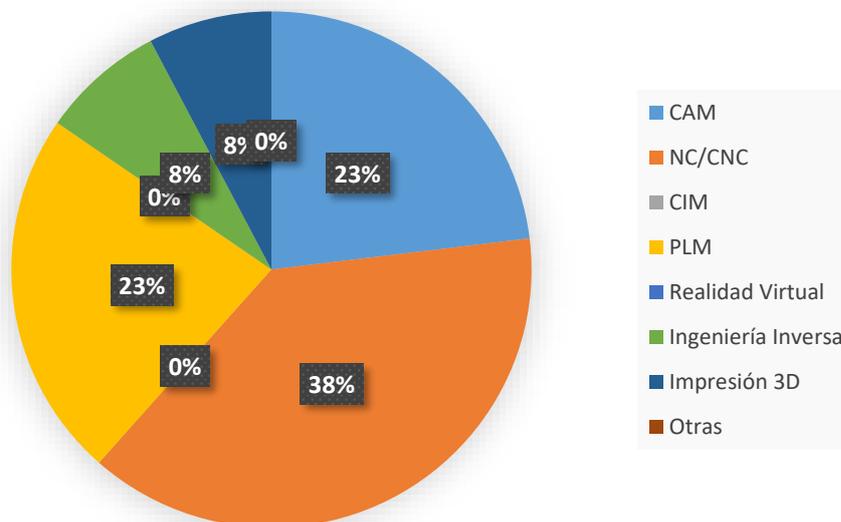


Figura 62. Resultado a la pregunta sobre el uso de otro tipo de tecnología de fabricación.

En este grupo de preguntas se examinó sobre el sistema de realidad virtual.

A la pregunta 32, si los sujetos de investigación conocen la tecnología de realidad virtual, el 80% conoce esta tecnología, pero solo como uso recreativo; el 20% conoce

esta tecnología y piensa que se podría aplicar en la manufactura, pero no sabe cómo funciona este sistema.

A la pregunta 33, si ha utilizado la tecnología de realidad virtual en su trabajo de diseño de productos, manifiestan que nadie ha utilizado esta tecnología; sin embargo, se percibe que al modelar en 3D trabajan en un sistema de realidad virtual no inmersivo ya que los softwares utilizan un sistema CAD 3D.

El siguiente grupo de preguntas se realizó luego de que los sujetos de investigación asistieran a un taller sobre la tecnología de realidad virtual y la manufactura.

Tabla 12
Pregunta sobre el uso de la realidad virtual (VR)

	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Cree usted que mediante la realidad virtual podrá validar sus diseños	0	1	3	1	0
Cree usted que la realidad virtual podría facilitarle el ensamble, desensamble del producto en la fase de diseño y verificar los encajes	0	3	2	0	0
Considera que la realidad virtual sería un complemento para el análisis en un sistema CAE	0	1	4	0	0
Considera que la realidad virtual le ayudaría en la presentación de sus productos a los usuarios	0	0	0	4	1

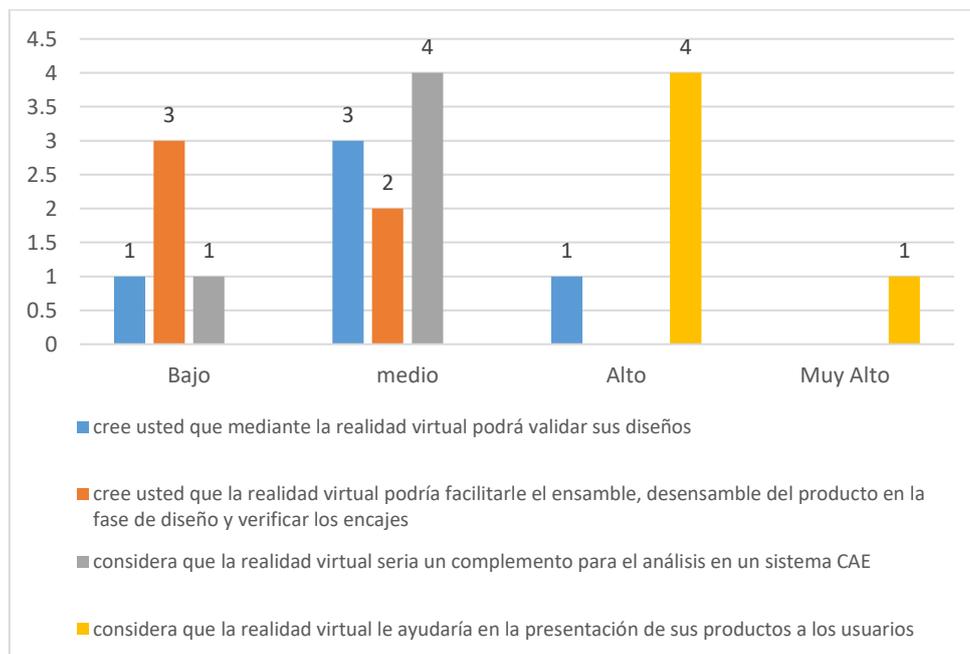


Figura 63. Resultado a la pregunta uso de la realidad virtual (VR).

4.3. Resultados de validación de final de investigación

El cuestionario sirvió para la validación de las preguntas de investigación y las hipótesis, el 80% considera que la utilización de un sistema de realidad virtual traerá beneficios al área de diseño de productos y los ayuda a gestionar de manera más eficiente los modelos.

Tabla 13

Tabulación de preguntas de validación de hipótesis de investigación

		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
H.1.	Considera usted luego de la experiencia que mediante la realidad virtual pudo validar sus diseños.	0	0	0	1	4
H.2.	Considera usted luego de la experiencia que la realidad virtual le facilitó el ensamble, desensamble del producto en la fase de diseño y verificar los encajes.	0	0	0	4	1
H.3.	Considera usted luego de la experiencia que la realidad virtual es un complemento para el análisis en un sistema CAE.	0	0	1	4	0
H.4.	Considera usted luego de la experiencia que la realidad virtual le ayudó en la presentación del producto a los departamentos de ingeniería, ventas y marketing.	0	0	0	0	5
H.5.	Considera usted luego de la experiencia que al utilizar la realidad virtual le permitió revisar la geometría del modelo.	0	0	0	0	5
H.6.	Considera usted luego de la experiencia que ya no es necesario desarrollar varios prototipos físicos.	0	0	0	2	3
H.7.	Considera que enviar el prototipo digital directamente a la máquina CNC agilizará el proceso de creación de nuevos productos.	0	0	0	0	5
H.8.	Considera usted importante tener todos los softwares CAD/CAE/CAM integrados en una sola plataforma tal como plantea la Manufactura Virtual.	0	0	0		5

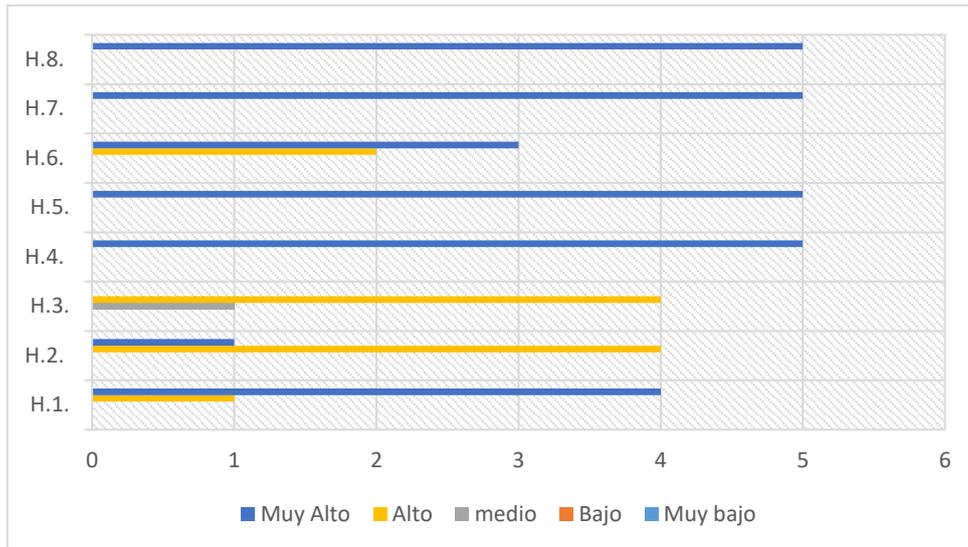


Figura 64: Resultado a las preguntas de tabulación de la validación de la hipótesis.

La siguiente grafica se ha realizado con analytics VR/AR, que valida el uso de los dispositivos de acuerdo con la rutina que le dieron los técnicos e ingenieros encargados del desarrollo del nuevo producto.

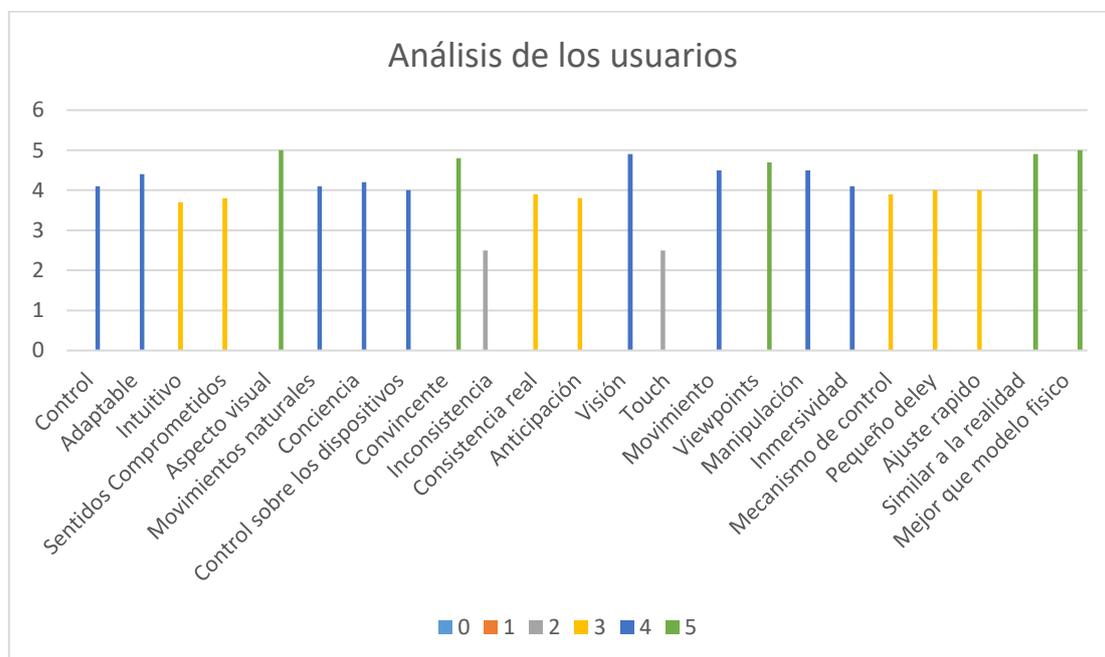


Figura 65: Resultados a nivel de usuario de VR.

4.4. Resultado de nivel de productividad

Producto nuevo: diseño de un *Case* de computadora

En este punto se van a presentar los resultados de la productividad, que hacen referencia al diseño y desarrollo de un producto nuevo [*Case* de computadora] hasta la fase de análisis y evaluación listo para llevar a fabricación en lotes. Se consideraron los KPI, basados en el método de trabajo de la empresa manufacturera adaptado con la metodología propuesta de integración del diseño CAD con la realidad virtual (VR).

Producto nuevo: diseño de un *Case* de computadora

Restricciones: soporte de placas madre Intel 8Tva generación, para los demás periféricos estándar e ISOS.

Evaluación del diseño CAD utilizando VR

La evaluación del diseño del *Case* se realizó en base a los parámetros utilizados por la empresa y de acuerdo con sus registros, en este proceso se utilizó la información del departamento de ingeniería efectuándose una comparativa entre los diseños utilizando un prototipo físico y un prototipo digital, para este último los evaluadores usaron un visor de realidad virtual para tomar contacto con el producto:

Criterios de valoración:

- Estética, rapidez de diseño, funcionalidad, costo y viabilidad.

Tabla 14
Matriz de evaluación de diseño

Cod		Pesos	Producto A prototipo Digital (VR)	Producto B Prototipo Físico
E01	Estética	2	1	1
E02	Rapidez diseño	2	2	-1
E03	Funcionalidad	3	1	2
E04	Costo	2	2	-1
E05	Viabilidad	2	-1	1
Suma (+)			7	4
Suma (-)			1	2
Suma Ponderada			6	2
Ranking			1	2

Nota: Matriz de Pugh para la toma de decisiones.

Las siguientes tablas y figuras muestran el nivel de productividad en el desarrollo del producto expresado en horas/hombre y costo x hora hombre.

Tabla 15
KPI de productividad y unidades de medidas

Cod.	KPI	Unidad de medida / Tiempo de producción	Unidad de medida/ Costo hora-hombre
T01	Planificación	Tiempo/horas	Soles
T02	Desarrollo del concepto	Tiempo/horas	Soles
T03	Diseño nivel de sistema	Tiempo/horas	Soles
T04	Detalle del diseño	Tiempo/horas	Soles
T05	Prototipo digital	Tiempo/horas	Soles
T06	Exportación de archivo	Tiempo/horas	Soles
T07	Fabricación de prototipo físico	Tiempo/horas	Soles
T08	Integración VR	Tiempo/horas	Soles
T09	Análisis y evaluación	Tiempo/horas	Soles

Nota. Unidad de medida = Tiempo de diseño del producto. Unidad de medida = Costo del diseño del producto/h-hombre.

El proceso de medición se realizó basado en el PLM de la empresa, que utiliza como base de gestión de proyectos *Microsoft Project*, el producto a realizar es un nuevo modelo de *Case* para computadora, para la validación de esta parte final y presentar

los resultados se dividió en 2 grupos, un grupo conformado de 3 Ingenieros / diseñadores / especialistas que van a realizar el diseño del modelo de *case* de la forma tradicional de trabajo, y un segundo grupo integrado por 2 personas que utilizaron el modelo propuesto en un entorno de realidad virtual.

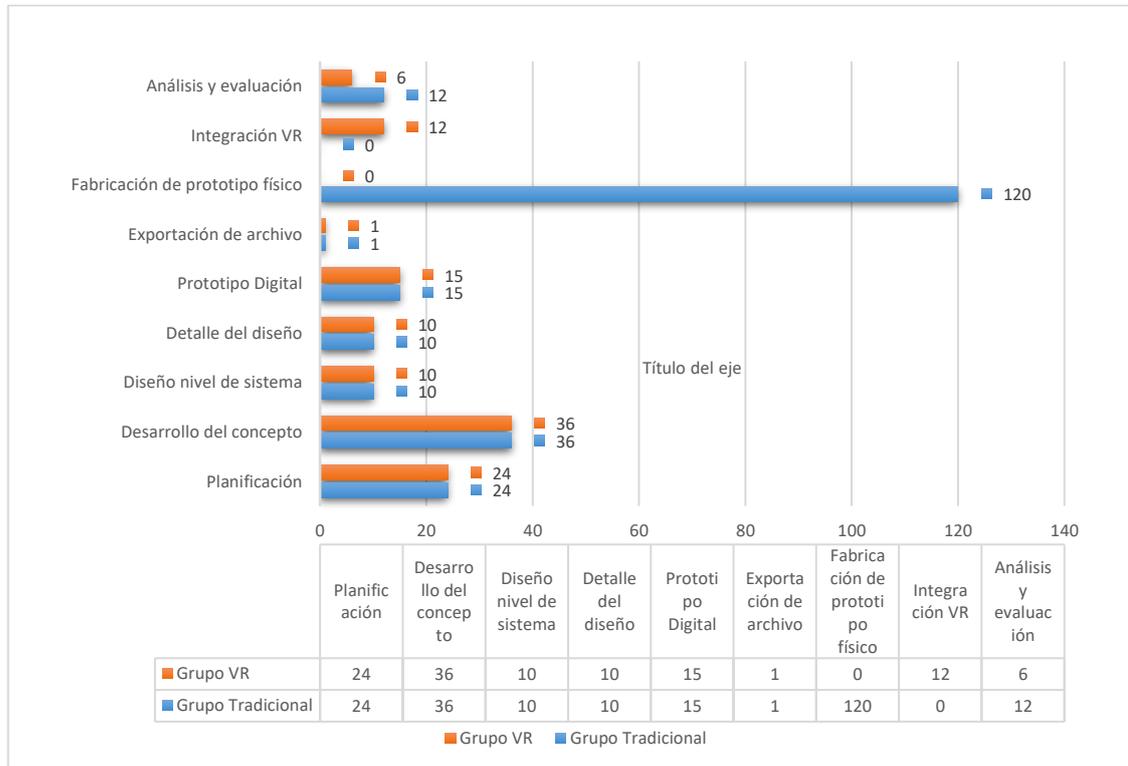


Figura 66. Gráfica de productividad horas-hombre del diseño de un modelo de Case de computadora hasta la fase de análisis y evaluación.

En la gráfica (Figura 65) se muestra que los valores tanto del grupo que utilizó el modo tradicional de diseño CAD como del grupo que utilizó el sistema de realidad virtual, los valores horas-hombres son iguales y se mantienen hasta la exportación de los archivos, en el caso del grupo tradicional el archivo se exportó para que se envíe a una máquina de CNC para la fabricación de un prototipo físico con una duración de 120 horas-hombre, en el caso del grupo VR se exportó el archivo para ser integrado a un sistema de realidad virtual con un trabajo de 12 horas-hombre. El proceso de la integración del diseño CAD a un sistema de realidad virtual, tuvo un tiempo menor de

trabajo que en un sistema tradicional. La fase final de análisis y evaluación, el grupo tradicional utilizó 12 horas-hombre, mientras que el grupo VR utilizó 6 horas-hombre para esta fase.

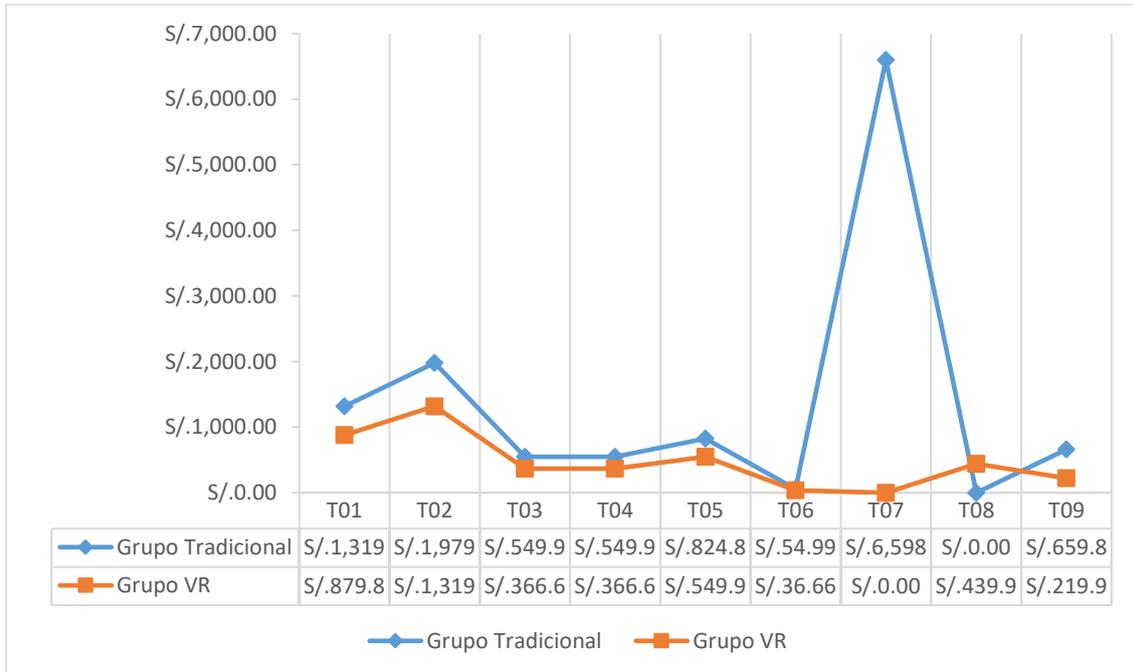


Figura 67. Gráfica comparativa de los costos hora-hombre para la realización del diseño de un case de computadora, se considera Grupo tradicional = 3 Especialista diseñadores, para el Grupo VR = 2 especialistas diseñadores, costo por hora-hombre S/ 18.33.

En la gráfica (Figura 66) se observa que los costos del grupo tradicional son mayores al costo del grupo de VR, esto es debido a que el grupo tradicional requiere un personal adicional encargado y especialista en codificación para máquinas CNC, si se realiza la comparativa de forma objetiva, los costos son equivalentes hasta la fase de exportación de archivos (T06), en la fase de realización del prototipo físico el costo se eleva sustancialmente mostrando un valor de S/ 6598.00 que gasta el grupo tradicional, mientras en el grupo de VR se eleva en la integración de la realidad virtual a S/ 439.92, de todas maneras, se observa un mayor costo en la realización del prototipo físico que en el uso de un sistema de realidad virtual, otro costo a evaluar es en la fase de análisis mientras que el grupo tradicional gastó S/ 659.88, el grupo VR

gastó S/ 219.96. En líneas generales, el método tradicional de trabajo es más costoso que el uso de la realidad virtual en el diseño CAD.

La siguiente tabla muestra el retorno de la inversión, a partir de la información obtenida de la empresa, teniendo en consideración el uso de la realidad virtual en el desarrollo del producto.

Tabla 16
Consolidado de producción y ventas

Case	Costo de producción por unidad	Costo de venta por unidad	Costo de venta con IGV	Cantidad de unidades fabricadas	Cantidad de unidades vendidas entre dic.-feb.
Midle tower Atx, 550w., puerto USB (2 y 3), soporte placa Intel y AMD	\$10.50	\$29.30	\$.34.57	250 Ud.	165 Ud.

Nota. Solo se considera el producto que fue analizado en su fase de diseño en un entorno inmersivo (entorno VR). Datos proporcionada por la empresa.

Se usa la siguiente formula

$$ROI = [(Ingreso - Inversión) / Inversión] * 100$$

Tabla 17
Cálculo de ROI

CALCULO DE RETORNO DE INVERSIÓN	
Unidades vendidas	165
Inversión	S./ 10530.00
Ingreso producido por la inversión	S./ 20534.58
ROI de la inversión (%)	95.01%
ROI de inversión en Soles (S/.)	S./10.004,58

El ROI de la inversión es del 95.01%

Nota. Se considera el ROI después del descuento del IGV – solo unidades vendidas hasta febrero del 2020 (información proporcionada por la empresa).

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Discusión

La característica principal de la manufactura para la creación de nuevos productos hoy en día es la convergencia multidisciplinar de los profesionales en el desarrollo de los proyectos y que demandan la colaboración digital. Con el advenimiento del sistema de realidad virtual y la computación en la nube, el desarrollo de nuevos productos aprovecha realmente la integración de estas tecnologías llevando a un nuevo nivel la llamada manufactura 4.0.

En esta investigación, a partir de los resultados obtenidos se da validez a la hipótesis general y se comprueba que, al implementar un sistema de realidad virtual, la empresa manufacturera gestionó de una manera mucho más eficiente los diseños CAD y permitió experimentar con los productos en un entorno tridimensional, inmersivo, interactivo y configurable. El personal especialista en diseño CAD obtuvo un prototipo virtual analítico-funcional a escala real con el que pudo realizar validaciones y pruebas de diseño, dentro del entorno virtual. Antes de la inclusión de un sistema de realidad

virtual inmersiva, el personal de diseño CAD realizaba varios prototipos físicos que implicaba costos adicionales y tiempo largos en su manufactura, ya que estos no son producidos en las instalaciones de la empresa, al implementar un sistema de realidad virtual el número de prototipos físicos se disminuyó a uno, permitiendo la toma de decisiones en base a la información visual para su posterior manufactura.

La fase del diseño concentra la mayor parte del trabajo en el desarrollo de un nuevo producto, motivo para que el diseño asistido por computadora CAD tome mayor relevancia tal como se demuestra en el desarrollo teórico, pero en esta etapa también es importante la evaluación constante de las características interiores y exteriores antes de construir el primer prototipo, estas labores se van realizando paralelamente al diseño del modelo. En la empresa manufacturera analizada, para realizar un nuevo producto los diseñadores CAD realizan un análisis sistémico de productos anteriores realizados por la empresa, plantean mejoras y actualizaciones de algunos factores, realizan un boceto digital, tras la aprobación se comienza a realizar el diseño digital 3D, finalmente obtienen un prototipo digital cuyo archivo es enviado al mecanizado CNC para la obtención de un prototipo físico.

Según los resultados obtenidos hasta esta etapa, el personal cumple los procesos que normalmente se usan en la creación de nuevos productos, con algunas variantes frente a otras empresas, pero similares en líneas generales; además demuestra que el personal está preparado para asumir la mayoría de las funciones dentro del proceso de diseño, esto se desprende de los resultados de la investigación que indica que el 60% del personal tiene educación técnica y maneja los softwares de diseño CAD a nivel avanzado, y el 40% tiene educación universitaria; sin embargo, estos últimos son usuarios intermedios en el manejo de los softwares de diseño CAD, pero con

conocimiento en software CAE, esto permite un balance y complemento entre estos dos grupos. Un factor que debilita el uso de los conocimientos de los diseñadores CAD en la creación de nuevos diseños de productos, es el uso de los recursos tecnológicos que son brindados por la empresa, muchos de ellos no están actualizados y las conexiones en red interna son deficientes; sin embargo, el personal, en un 60% utiliza el intercambio de archivos en la nube y el ambiente colaborativo que ofrece los software con los que trabajan para superar este escollo, pero un 40% de diseñadores CAD de los sujetos investigados aún utiliza el intercambio de archivo utilizando pendrives, más por una suerte de costumbre que por desconocimiento, estos distintos modos de trabajo creaban un desorden al momento de gestionar los archivos CAD.

Al finalizar el modelado CAD se obtiene un prototipo, este es importante en el proceso de desarrollo de nuevos productos y tal como está planteada en la teoría de esta investigación, este cumple su función solo si el prototipo ofrece la capacidad de que el usuario pueda percibir y evaluar todos los aspectos, «la creación de prototipos se realiza para verificar las características de los productos en diversas condiciones. El diseño del producto está aprobado para su fabricación solo si el prototipo funciona bien» (Umar, et al., 2017, p. 14). En el caso de la empresa motivo de investigación se obtuvieron dos tipos de prototipos; uno digital, resultado del diseño CAD que le dan una utilidad preliminar de análisis y varios prototipos físicos que son funcionales y cumplen su misión, pero con costos elevados y tiempos largos de fabricación entre 1 a 3 meses.

Para la empresa, los prototipos digitales antes de la aplicación de la solución no tenían un valor sustancial, con los resultados preliminares de la solución comenzaron a reevaluar sus procesos y se dieron cuenta que tiene el potencial de modernizar los

nuevos desarrollos, y más aun con la implantación de un sistema de realidad virtual que podía sustituir a los prototipos físicos.

Como indican los resultados, se infiere que los diseñadores CAD trabajaban en un entorno virtual semiinmersivo o entorno de sobremesa, según la clasificación propuesta por Bolzoni. Esta afirmación se basa en los fundamentos teóricos expuestos, al ser un entorno de sobremesa y con los softwares utilizados podían manipular los modelos 3D mostrando distintos ángulos, pero sin permitir ver la dimensión real del producto, esta era una de las razones por lo que se necesitaba realizar varios prototipos físicos funcionales; entonces, el que los diseñadores CAD trabajen en un sistema de sobremesa facilitó la introducción de la tecnología de realidad virtual en el PL, mediante esta tecnología los diseñadores CAD obtuvieron más información del producto y facilitó la corrección de varios errores cometidos en el diseño CAD en un tiempo mucho menor tal como se verifica en los resultados del nivel de productividad.

Para introducir el diseño en un entorno inmersivo, interactivo y configurable, se extrajo la geometría directamente del diseño asistido por computadora (CAD). Para Choi et al. (2015) «el intercambio de datos entre el sistema CAD y VR es el más crítico, tanto por el tamaño de los archivos de datos CAD que es demasiado grande y complejo para ser visualizado en entornos de realidad virtual en tiempo real» (p. 23), además de la existencia de variados software CAD que dan como resultado múltiples formatos; Choi plantea un *middleware* de intercambio directo de datos, [como se menciona en los procesos de aplicabilidad de la realidad virtual] , pero esta solución funciona solo si existe una plataforma completa de manufactura virtual en el que se considera no solo el diseño CAD, también el CAE, CAM; es decir, en líneas generales, se hace la revisión del diseño, simulación virtual y manufactura virtual, esta solución propuesta por Choi

es aplicable perfectamente a empresas manufactureras grandes, pero difícilmente una solución así se podría aplicar a una mediana empresa, menos aun a una pequeña empresa manufacturera. Cardona (2007) propone el uso de un formato teniendo en cuenta el propósito del prototipo digital, es decir, el uso de formatos de intercambio ya existentes [fundamento que sirvió al modelo de solución propuesto en esta investigación], entonces la solución vino por aplicar un formato estándar de autor, en este caso se seleccionaron dos: IGES y FBX.

El IGES es un formato de intercambio digital entre sistemas muy usado en CAD, al ser utilizado en la exportación hacia un software de integración VR la malla poligonal tenía varios problemas con la topología de la geometría; entonces los diseñadores CAD utilizaron FBX, que es un formato mucho más amigable entre plataformas de medios y que permite una gestión e intercambio más fluido, y permite conservar las relaciones topológicas del modelo, conservar los materiales, conservar las restricciones y la información paramétrica. Esto da como efecto que, luego de generar el sistema de realidad virtual y, fuera necesario realizar cambios en el modelo, a partir de las revisiones de ensamble, interferencias y otros análisis, pueda regresar rápidamente al software CAD, cambiar los parámetros necesarios sin necesidad de modelarla nuevamente y devolver el modelo 3D al entorno virtual; y de este modo, continuar el análisis hasta obtener el prototipo virtual requerido.

Una de las razones para crear un prototipo es realizar las pruebas de ensamble y desensamble que sirve para evaluar múltiples aspectos de rendimiento y ergonomía, aunque estos se van probando en el proceso del diseño, con la aplicación de la solución del sistema de realidad virtual inmersivo, se reemplaza a la evaluación del modelo físico [no en su totalidad] y sirve para verificar las características mecánicas y

físicas, para luego analizar la interrelación entre las partes y los factores que afectarían la calidad respondiendo a las preguntas clave de todo producto en su fase de prototipado. «¿Puede un usuario ensamblar una parte o un componente?, ¿se puede desmontar la pieza para brindar servicio y mantenimiento?, ¿es "difícil" o "fácil" ensamblar / desmontar una pieza?, ¿cuánto tiempo se tarda?, ¿qué tan estresante es en términos de ergonomía?, ¿hay suficiente espacio para otras piezas que vaya a contener?». (Umar, et al.,2017, p. 18). Esta etapa de verificación de ensamble en un ambiente virtual corrobora las afirmaciones tanto de Choi y de Cardona en sus respectivos modelos, en líneas generales dicen que la verificación constante de los ensambles en un ambiente virtual inmersivo evita excesivos errores en los diseños en los prototipos y evita tener que rediseñar el producto. En el caso del modelo propuesto en esta investigación también están confirmadas estas premisas, pero es necesario aclarar que hubo un inconveniente en particular para los diseñadores CAD y fue un problema con la velocidad de red que trajo como secuela la ralentización de imagen, que se solucionó con la disminución de la geometría, pero alteró ciertos aspectos del modelo, aun así, se cumplieron los objetivos.

«La tecnología de ingeniería asistida por computadora (CAE) se usa ampliamente para analizar un modelo antes de la etapa de producción» (Choi, 2017, p. 26). Según lo expuesto en la fase conceptual de esta investigación CAD y CAE tienen una intrínseca relación, después del CAD la ingeniería asistida por computadora mediante software permite analizar y simular los diseños realizados en el computador. Choi, en su metodología de aplicación de un sistema de realidad virtual (VR), al plantear un formato de intercambio de archivos intermedio para extraer los datos de CAE, no establece una comunicación, sino la exportación del prototipo digital, que es

importado hacia el sistema de realidad virtual. Cardona, en su modelo plantea que se trabaje CAD/CAE y que después del diseño se realice el análisis a través del prototipo virtual con el sistema de realidad virtual utilizando un formato de autor. En líneas generales el factor de comunicación entre CAE y el sistema de realidad virtual no se efectúa en su totalidad ya que CAD/CAE se trabaja con sólidos paramétricos y el sistema de realidad virtual trabaja con superficies geométricas, pero los diseñadores CAD de la empresa manufacturera pudieron realizar los análisis principales y como está planteado en la solución propuesta, se trabajaron los diseños CAD a VR y CAD a CAE a VR; al compartir la información de forma manual se agilizó el proceso de verificación, para que una vez dentro de los sistemas CAE se puedan realizar el preprocesamiento, procesamiento y posprocesamiento, disminuyendo los tiempos y costos tal como muestran los resultados de nivel de productividad.

«El entorno virtual en sí mismo no es una ventaja única, ya que las computadoras pueden alcanzar el mismo nivel de personalización, pero lo más importante es que la percepción tridimensional que ofrece la realidad virtual para percibir el entorno personalizable e interactuar naturalmente en él, es un rasgo exclusivo para la plataforma». (Grinsted, 2017, p. 31). Frente a un modelado CAD bidimensional, un sistema de realidad virtual inmersivo facilita el percibir y juzgar el contexto de profundidad, además de que en un espacio 3D con los avances tecnológicos se vio un elemento muy realista que aceleró la toma de decisiones.

Finalmente, las metodologías de Choi y Cardona cumplen sus objetivos planteados. El Modelo de Choi con una estructura compleja en el que abarca todas las fases del PL en un ambiente digital (VM) y aplicado a grandes empresas manufactureras, pero con requerimientos tecnológicos grandes tanto de *software* como de *hardware* [alta

potencia y velocidad de cómputo], como modelo ha sido adoptado por muchas empresas para mejorar sus procesos de creación de nuevos productos ya que permite la creación de productos de manera más conveniente y eficiente. La metodología de Choi podría mejorar y aminorar los costos utilizando los diversos sistemas de integración en la nube que han aparecido, fundamentalmente AWS de Amazon y AZURE de Microsoft, que ofrecen tecnologías maduras en la nube para el intercambio de información en ambientes de realidad virtual y reducir los costos de infraestructura, además de ser necesario una democratización del sistema digital que plantea. En el caso de Cardona, si bien es cierto ofrece una mejor organización para trabajar con medianas y pequeñas empresas manufactureras, las pruebas y análisis dentro del ambiente inmersivo se dan en un ambiente local, es decir, si el cliente está en otra localización geográfica, necesariamente se le tiene que enviar el archivo para que sea descargado en su computador y recién activar la experiencia de realidad virtual para el análisis del producto, creando demoras en la utilización de este sistema. Entonces, al concertar estos dos modelos se logra que el sistema de realidad virtual pueda ser utilizado no solo por pequeñas y medianas empresas, sino que también pueda ser usado por toda empresa manufacturera; claro está que, como todo tipo de tecnología, está en constante avance y cambio, el ideal es que todos los procesos estén integrados en un ambiente digital tal como propone Choi, pero con los presupuestos ajustados con los que trabaja la empresa manufacturera en Perú, en general esto tomará tiempo hasta que se reduzcan mucho más los costos en software e infraestructuras tecnológicas.

5.2. Conclusiones

Con la investigación y los resultados obtenidos se concluye que la realidad virtual y sus variantes ofrecen en la manufactura una efectiva y amplia gama de posibilidades para los diseñadores, en cada una de las fases del ciclo de vida del producto, minimizando tiempos y costos.

Con el uso de un sistema de realidad virtual dentro del diseño CAD, se consigue información más acertada del modelo digital, con el que se corrige y se da validez al diseño dentro de un entorno inmersivo, real y colaborativo en las primeras etapas, ofreciendo no solo beneficios pasivos como la visualización, si no se convierte en una herramienta activa, que asiste en la corrección de errores críticos y se acorta el ciclo de diseño de un nuevo producto.

La creación de un prototipo virtual es la columna vertebral en todo diseño de nuevos productos, al implantar un sistema de realidad virtual se logró mejorar las pruebas de ensamble, forma, ajuste y funcionalidad en un entorno inmersivo real, sin la necesidad de crear prototipos físicos en el que los ingenieros pudieran manipular e interactuar con los modelos, verificando la facilidad de uso y ergonomía, pudiendo integrar el trabajo a las herramientas de ingeniería asistida por computador (CAE) y compartiendo la experiencia en modo multiusuario.

Con el planteamiento de la solución, se concluye que es necesario tener una metodología de aplicación del sistema de realidad virtual en el diseño CAD y que sea una ruta flexible que los diseñadores sigan para una adecuada integración entre las tecnologías CAD/CAE y RV.

Se concluye que al evaluar el diseño del prototipo digital [*Case de computadora*] en un ambiente inmersivo, es un acercamiento al modelo real, pero no es completamente

realista, causando que el movimiento y la interacción no sea natural debido a una falta de retroalimentación de otros sentidos o la ralentización de las imágenes en el render, lo deseable es que en el futuro se pueda mejorar la experiencia y proporcionar una visualización de alta calidad del diseño del producto, esto se logrará con mejoras en el uso de esta tecnología, capacitación del personal y fundamentalmente con el abaratamiento de esta tecnología, aun así, se cumplieron los objetivos básicos.

La realidad virtual es un paso más a lo que viene siendo la Industria 4.0 que plantea la transformación de una fábrica convencional a una fábrica inteligente o *Smart* hiperconectada donde sea posible el acceso y la modificación en tiempo real en los procesos del ciclo de vida de un producto.

Tabla 18
Comparativa entre objetivo general y los resultados obtenidos

Objetivo general	Resultado
Implementar un sistema de gestión y visualización de diseños CAD mediante la realidad virtual, que permita experimentar, validar, reducir los riesgos en un entorno inmersivo, interactivo y configurable que disminuya los costos y tiempos en el proceso de desarrollo de nuevos productos.	Se logró implementar un sistema de realidad virtual inmersiva con el que se pudo gestionar los modelos CAD. Y los diseñadores e ingenieros pudieron validar y experimentar en un entorno inmersivo, reduciendo los tiempos y costos.

Tabla 19
Comparativa entre objetivos específicos y los resultados obtenidos

Objetivos específicos	Resultados
Demostrar que utilizando la realidad virtual en el CAD se podrá obtener información más acertada del concepto de un producto, de esta forma corregir y validar en un entorno inmersivo.	Toda la información conceptual fue desarrollada de acuerdo con los parámetros establecidos para una adecuada implementación de un sistema de realidad virtual.
Implementar un sistema de realidad virtual que logre una mejor interrelación entre el diseño, el análisis y herramientas de simulación.	Al implementar un sistema de realidad virtual se logro una mejor interrelación entre el diseño y las herramientas de análisis en un menor tiempo.
Demostrar que un prototipo virtual en un entorno inmersivo facilitará el ensamble y desensamble del producto y verificar su facilidad de uso.	Se demostró que un prototipo virtual en un entorno inmersivo facilita el ensamble y realizar diversas pruebas de ergonomía.

Determinar que un modelo 3D en un espacio de realidad virtual es más sencillo percibir y juzgar el contexto de profundidad frente a un modelado CAD bidimensional.	Se demostró que, con un sistema de realidad virtual inmersivo, un modelo 3D es más sencillo percibir y juzgar ya que se encuentra a escala real.
--	--

Tabla 20
Comparativa entre hipótesis general y los resultados obtenidos

Hipótesis general	Resultado
Con la implementación de un sistema de gestión y visualización de diseños CAD mediante la realidad virtual, las empresas de diseño y manufactura podrán experimentar, validar, reducir los riesgos en un entorno inmersivo, interactivo configurable, reducir los costos, tiempos en el ciclo de vida de un producto de manera significativa.	Se logró implementar un sistema de realidad virtual con el cual los diseñadores CAD e ingenieros pudieron manipular el modelo 3D en un ambiente virtual inmersivo-interactivo a escala real, y pudieron analizar y realizar pruebas de ensamble, verificar errores, revisar la ergonomía y comparar entre modelos digitales.

Tabla 21
Comparativa entre hipótesis específicas y los resultados obtenidos

Hipótesis específica	Resultados
Con el uso de la realidad virtual en el CAD se podrá obtener información más acertada del concepto, de esta forma corregir y validar en un entorno inmersivo real.	El equipo de diseñadores al probar el prototipo digital en un entorno virtual inmersivo obtuvo información acertada del modelo y sus partes, permitiendo su posterior corrección antes de la fabricación.
Al implantar un sistema de realidad virtual se logra integrar el diseño con el análisis y herramientas de simulación, de esta forma se puede evitar la pérdida de datos en el intercambio entre distintas herramientas tecnológicas.	Al utilizar un sistema de realidad virtual, por cuestiones tecnológicas no se pudo utilizar un intercambio digital bidireccional completo entre CAE y VR, pero sí se pudo realizar simulaciones del prototipo digital.
Un prototipo virtual en un entorno inmersivo facilita el ensamble y desensamble del producto, verificar la facilidad de uso, incluso si esta es realizada por más de una persona.	Se comprobó que en un entorno virtual inmersivo es mucho más sencillo probar los ensambles con retroalimentación háptica, de este modo los diseñadores CAD pudieron detectar el atributo físico de las distintas piezas o partes del modelo tridimensional.
Frente a un modelado CAD bidimensional, en la realidad virtual y en un espacio 3D se facilita percibir y juzgar el contexto de profundidad, además de que en un espacio 3D es deseable una imagen realista y no formas abstractas y geométricas.	Se demostró que un modelo tridimensional y a escala 1:1 en un entorno virtual inmersivo es mucho más sencillo percibir y juzgar tanto para los diseñadores como para los clientes a quienes se les envió el prototipo digital mediante un intercambio en la nube.

5.3. Recomendaciones

Se recomienda que antes de empezar el proyecto de diseño de un nuevo producto el personal encargado deba incluir en la fase de planeación el uso de la realidad virtual como una etapa más del proceso de diseño y establecer en qué fases clave se va a utilizar el sistema y de acuerdo con el plan utilizar la metodología de implantación que permita una integración transparente entre software CAD -VR.

Es recomendable que el área de ingeniería no tenga dificultades críticas al utilizar el sistema de realidad virtual, por lo tanto la geometría del modelo CAD debe estar optimizada y todos los atributos descritos al detalle, agregando restricciones funcionales para la adecuada simulación en la visualización dentro del sistema de realidad virtual inmersiva.

La realidad virtual es una tecnología que favorece el trabajo colaborativo de los diseñadores, por tal motivo, es recomendable que se implemente una plataforma que considere todos los procesos de la manufactura virtual en un entorno colaborativo, amigable y se introduzcan tecnologías como la realidad aumentada y la realidad mixta, en el que se promuevan las buenas prácticas del trabajo colectivo.

Finalmente, se debe promover la constante actualización y capacitación del personal en áreas tecnológicas que laboran en las empresas, sean estas pequeñas o grandes empresas manufactureras, promoviendo entre sus recursos humanos I+D+i, teniendo en consideración que estos recursos son importantes y fundamentales en toda empresa.

Referencias

- Abidi, M. H., Al-Ahmari, A. M., El-Tamimi, A. M., Darwish, S. y Ahmad, A. (2016). *Development and evaluation of the virtual prototype of the first Saudi Arabian-designed car. Computers, 5(4), 26.* Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2073-431X/5/4/26/htm>
- ANMOPYC, (2018). *Estado del Arte: aplicación de nuevas tecnologías inmersivas para la innovación en la maquinaria de construcción, obras públicas y minería.* ITAINNOVA, Volumen 1, 1-18. Recuperado de: <https://www.yumpu.com/es/document/read/55147756/estado-del-arte>
- Bolzoni, M. (1994). *Eliciting a context for rules of interaction: a taxonomy of metaphors for human-objects communication in virtual and synthetic environments.* In 2nd UK Virtual Reality-Special Interest Group Conference, Theale, Reading.
- Brockwell, H. (2016). *Forgotten genius: the man who made a working VR machine in 1957.* Consultado en agosto del 2018. Recuperado del sitio web de techradar: <https://www.techradar.com/news/wearables/forgotten-genius-the-man-who-made-a-working-vr-machine-in-1957-1318253>
- Brudniy, A. y Demilhanova, A. (2012). *The Virtual Reality in a Context of the Mirror Stage.* International Journal of Advances in Psychology, 1(1), 6-9.
- Bullinger, H. J., Breining, R. y Bauer, W. (1999). *Virtual prototyping—state of the art in product design.* Alemania: In 26th international conference on computers & industrial engineering.
- Burdea, G. (1999). *Keynote Address: Haptic Feedback for Virtual Reality.* Consultado enero 2020, recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/2356993_Haptic_Feedback_for_Virtual_Reality

- Carbajal, M. O., Zárate, I. R. y Montañez, E. H. (2006). *Introducción a la realidad virtual*. España: Universidad Politécnica de Cataluña - Polibits.
- Cardona, D. (2007). *Realidad virtual y procesos de manufactura*. Colombia: Universidad Autónoma de Occidente.
- Cebrián, H. M. (2005). *Información multimedia - Soportes, lenguajes y aplicaciones empresariales*. Madrid: Pearson – Prentice-Hall.
- Chang, J. Z. (2017). *Designing in virtual reality: tools with the human field of vision* (Doctoral dissertation). Massachusetts Institute of Technology.
- Chang, K. (2014). *Product design modeling using CAD/CAE: the computer aided engineering design series*. Academic Press. USA.
- Chiang, L., Ow, M., Bravo, F., García de Cortázar, R., Ulloa, S. y Conte, P. (2012). En *Efectos y contribuciones del uso de simuladores sobre el perfil de egreso de alumnos de liceos técnico-profesionales, del sector metalmecánico*. Consultado en setiembre 2018, recuperado de:
[http://www.comunidadescolar.cl/documentacion/FONIDE/Informe% 20Final-Luciano% 20Chiang-PUC-F511012. pdf](http://www.comunidadescolar.cl/documentacion/FONIDE/Informe%20Final-Luciano%20Chiang-PUC-F511012.pdf).
- Choi, S. S. (2010). *PLM-based integrated framework for realistic virtual engineering*. PhD Dissertation, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea.
http://m.riss.kr/search/detail/DetailView.do?p_mat_type=be54d9b8bc7cdb09&control_no=78006bf5268fe4e8ffe0bdc3ef48d419#redirect

- Choi, J. (2016). *Merging three spaces: exploring user interface framework for spatial design in virtual reality* (Doctoral dissertation). Massachusetts Institute of Technology.
- Choi, S., Jung, K. y Noh, S. D. (2015). *Virtual reality applications in manufacturing industries: Past research, present findings, and future directions*. Concurrent Engineering. Consultado en Agosto del 2019, recuperado de:
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1063293X14568814>
- Computer World (2018). *Tendencias tecnológicas para 2018*. Consultado en agosto del 2018, recuperado de:
<http://www.computerworld.es/pubs/cw1350/index.html?page=10#>
- Coronado, A. M., Pereira, N., Isaac, V. y Claudia, M. (2018). *Planeamiento estratégico para las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) de Colombia*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Craig, A., Sherman, W. y Will, J. (2009). *Developing Virtual Reality Applications: Foundations of Effective Design*. Morgan Kaufmann.
- Dictionary, O. E. (1989). *Oxford English dictionary*. Simpson, JA & Weiner, ESC.
 Consultado en agosto del 2018, recuperado de:
<https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/us/>
- Earick, B. (2018). *What's Next for VR Audio*. Consultado enero 2020, recuperado de:
<https://uploadvr.com/world-vr-audio-perspective/>
- Ecommerce news (2017). *Cómo aprovechar la revolución de la realidad virtual para aplicarla a los negocios*. Consultado en agosto del 2018, recuperado de:
<https://ecommerce-news.es/aprovechar-la-revolucion-la-realidad-virtual-aplicarla-los-negocios-61792>

Esacademic (2019). *Espacialización Sonora*. Consultado setiembre 2019, recuperado de: <https://esacademic.com/dic.nsf/eswiki/445453>

Expansión (2018). *Realidad virtual, la tecnología que intenta conquistar al usuario*.

Consultado en agosto del 2018, recuperado de:

<http://www.expansion.com/tecnologia/2018/08/28/5b845d0046163f157c8b45df.html>

Fuchs, P. (2017). *Virtual reality headsets-a theoretical and pragmatic approach*. CRC Press.

Gartner. (2017). *Exploring augmented reality for business and consumers*. Consultado en agosto del 2018, recuperado de:

<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/exploring-augmented-reality-for-business-and-consumers/>

Gigante, M. A. (1993). *Virtual reality. definitions, history and applications*. London: Academic Press.

Gobbetti, E. y Scateni, R. (1999). *Virtual reality: past, present, and future*. Center for Advanced Studies, Research and Development in Sardinia. CRS4.

Hui, Z. (2017). *Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry*. Int J Min Sci Technol. Consultado setiembre 2019, recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.005>

ICONO 14. (2016). *Realidad Virtual (HMD) e Interacción desde la perspectiva de la construcción narrativa y la comunicación: propuesta taxonómica*. Consultado en agosto del 2018, recuperado de: <https://doi.org/10.7195/ri14.v14i2.965>

Indra (2018). *Análisis del Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018*, de Gartner.

Consultado en agosto del 2018, recuperado de:

<https://www.indracompany.com/es/blogneo/analisis-hype-cycle-emerging-technologies-2018-gartner>

Isdale, J. (1998). *What is virtual reality. Virtual Reality?* Consultado en setiembre 2019, recuperado de: <http://www.columbia.edu/~rk35/vr/vr.html>

Jarilla, R. (2018). *Guía de desarrollo de un videojuego con Unity en realidad virtual* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia.

Jayaram, S., Connacher, H. I. y Lyons, K. W. (1997). *Virtual assembly using virtual reality techniques. Computer-aided design, 29(8), 575-584.*

Jerald, J. (2016). *The VR book: Human-centered design for virtual reality.* EEUU: Morgan & Claypool.

Kalpakjian, S. y Schmid, S. R. (2014). *Manufactura, ingeniería y tecnología.* México: Pearson Educación.

Kzero. (2015). Report: *consumer virtual reality market worth \$5.2 billion by 2018.* Consultado en agosto del 2018, recuperado de: <http://www.hypergridbusiness.com/tag/kzero/>

Li, Qiang (2009). *Virtual reality for fixture design and assembly.* (PhD thesis). University of Nottingham.

Linowes, J. (2015). *Unity virtual reality projects.* UK: Packt Publishing Ltd.

Liu, C. (2012). *Using Virtual Reality to Improve Design Communication.* ProQuest Dissertations Publishing.

Ma, D., Gausemeier, J., Fan, X. y Grafe, M. (Eds.). (2011). *Virtual reality & augmented reality in industry.* Springer Berlin Heidelberg.

Myron, K. (1991). *Artificial reality II.* Addison-Wesley. ISBN 0201522608. OCLC 21408597.

- Mejía, J. N. (2012). *Realidad Virtual, Estado del arte y análisis crítico* (Master's thesis, Universidad de Granada/2012).
- Milgram, P. y Kishino, F. (1994). *A taxonomy of mixed reality visual displays*. IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 77(12), 1321-1329.
- Mineev, G. (2017). *The Impact of Immersive Virtual Reality on Effectiveness of Educational Games*, (Master's thesis, Utrecht University)
- Miñarro, P. M. (2016). *Desarrollo de una aplicación de Realidad Virtual* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia
- Morris, C. (1992). *Academic Press Dictionary of Science and Technology*. Academic Press, Inc., San Diego.
- Ong, S. K. y Nee, A. C. (2013). *Virtual and augmented reality applications in manufacturing*. Springer Science & Business Media.
- Orejuela, J., Aguinaga, A. y Llulluna, F. (2014). *Desarrollo de las Interfaces de Integración CAD CAM a través del Sistema de Manufactura Virtual; Mediante el Aprendizaje asistido por Computadora para la Programación y Manejo de Diferentes Controladores de Máquinas CNC*. Revista Politécnica, 34(1), 95.
- Popovi, J. y Wang, R. (2009). *Real-Time Hand-Tracking with a Color Glove*. Consultado agosto del 2019, recuperado de:
<https://homes.cs.washington.edu/~jovan/papers/wang-2009-rth.pdf>
- Retina. (2018). *El futuro de la realidad virtual y aumentada está en las fábricas* Consultado en agosto del 2018, recuperado de:
https://retina.elpais.com/retina/2018/10/08/tendencias/1539007012_063936.html
- Robles, G. (2006). *The Importance of the Sense of Touch in Virtual and Real Environments*. *International Society for Haptics*. Consultado en diciembre 2019,

recuperado de:

<https://web.archive.org/web/20140124073640/http://www.roblesdelatorre.com/gabriel/GR-IEEE-MM-2006.pdf>

Rubin, P. (2018). *Future Presence: How Virtual Reality is Changing Human Connection, Intimacy, and the Limits of Ordinary Life*. EE. UU.: HarperCollins.

Rubio, J. L. y Gértrudix, M. (2016). *Realidad Virtual (HMD) e Interacción desde la Perspectiva de la Construcción Narrativa y la Comunicación: Propuesta Taxonómica*. Revista ICONO14 Revista Científica De Comunicación y Tecnologías Emergentes.

Sanchez, M. y Slater, M. (2005). *From presence to consciousness through virtual reality*. Consultado en Noviembre 2018, recuperado de: <https://bit.ly/2MqC8Ej>

Sherman, W. y Craig, A. (2019). *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design (The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics)*. ISBN-13, 978-1558603530.

Shukla, C., Vázquez, M. y Chen, F. (1996). *Virtual manufacturing: an overview*. En: 19 international conference on computers and industrial engineering. Vol. 31, N° 1, pp. 79-82.

Tamayo, R. y Barrio, G. (2016). *Realidad virtual (HMD) e Interacción desde la perspectiva de la construcción narrativa y la comunicación: propuesta taxonómica*. Icono14, 14(2), 12.

T-Systems International GmbH. (2018). *Alemania. Revista trimestral*. Consulta en mayo 2019. Recuperado de: <http://www.t-systems.com>.

Ulrich, K. y Eppinger, S. (2016). *Product Desing and development*. McGraw-Hill, New York- USA.

- Umar, Z., Azizz, F. A., binti Hasan, R. y Abdullahi, M. B., (2017). *Virtual reality as industrial Training tool for manufacturing technology: A review*. Consultado en diciembre 2019, recuperado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/Virtual-reality-as-industrial-Training-tool-for-A-Umar-Azizz/e6ef78c7cf4a8a12ac3bd7a86ed87bfc11325ce8>
- Villegas, A. (2012). *Realidad virtual en el sector de la construcción* (Master's thesis). Universidad EAFIT.
- Wallin, R. L. (2017). *The use of virtual reality to increase efficiency and profitability in different industries and functions: how head-mounted display can bring value to sectors with its competitive attributes*. (Bachelor's Thesis). Aalto University
- Wang, G. G. (2001). *Definition and review of virtual prototyping*. Dept. of Mechanical and Industrial Engineering, University of Manitoba, Winnipeg. MB, R3T 5V6 Canada.
- Zhan, H. (2017). *Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry*. Int J Min Sci Technol. Consultado en marzo del 2020, Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.005>

Abreviaturas

2D.	Bidimensional
3D.	Tridimensional
API.	<i>Application programming interface</i> (interfaz de programación de aplicaciones)
AR.	<i>Augmented reality</i> (realidad aumentada)
CAD.	<i>Computer-aided design</i> (diseño asistido por computadora)
CAE.	<i>Computer-aided Engineering</i> (ingeniería asistida por computadora)
CAM.	<i>Computer-aided manufacturing</i> (fabricación asistida por computadora)
CAVE.	<i>Cave Assisted Virtual Environment</i>
CAX.	<i>Computer-aided x</i>
CIM.	Manufactura integrada por computador
CNC.	Control Numérico Computarizado
CPU.	<i>Central Processing Unit</i> (unidad central de procesamiento)
CRT.	<i>Cathode Ray Tube</i> (tubo de rayos catódicos)
DLP.	<i>Digital Light Processing</i> (procesamiento digital de luz)
DoF.	<i>Degrees of freedom</i> (grados de libertad)
FOR.	<i>Field of regard</i> (campo de consideración)
FOV.	<i>Field of view</i> (campo de visión)
FPS.	<i>Frames per second</i> (frame por segundo)
GPS.	<i>Global positioning system</i> (sistema de posicionamiento global)
GPU.	<i>Graphics processing unit</i> (unidad de procesamiento gráfico)
HMD.	<i>Head-mounted display</i> (visor de realidad virtual)
I/O.	<i>Input/Output</i> (entrada/salida)

IDE.	<i>Integrated Development Environment</i> (entorno de desarrollo integrado)
LED.	<i>Light-emitting diode</i> (diodo emisor de luz)
MR.	<i>Mixed reality</i> (realidad mixta)
PL.	<i>Product lifecycle</i>
PLM.	<i>Product lifecycle management</i> (gestión del ciclo de vida de productos)
POV.	<i>Point of view</i>
ROSDs.	<i>Robotically operated shape displays</i>
SDK.	<i>Software development kit</i> (kit de desarrollo de software)
TIC.	Tecnologías de información y comunicación
VCASS.	<i>Visually coupled airborne systems simulator</i>
VIEW.	<i>Virtual Interactive Environment Workstation</i>
VM.	<i>Virtual manufacturing</i> (manufactura virtual)
VR.	<i>Virtual reality</i> (realidad virtual)
VRAC.	<i>Virtual reality applications center</i>
VRML.	<i>Virtual Reality Modeling lenguaje</i>
XR.	<i>Extended reality</i> (realidad extendida)

Glosario de conceptos

2D: (*Bidimensional*). Término que define dibujos en dos dimensiones perpendiculares entre sí.

3D: (*Tridimensional*). Imagen construida con tres dimensiones: largo, ancho y profundidad.

3DEVA: Carcasa destinada a convertir una tablet de 7" en un HMD.

AI: (*Artificial intelligence*). inteligencia artificial.

CAD: (*Computer-aided Design*). Diseño asistido por computadora. Software que permite crear dibujos de precisión, bidimensionales y tridimensionales. Lo usan principalmente arquitectos e ingenieros.

CAM: (*Computer-aided Manufacturing*). Fabricación asistida por computadora es el uso de software y maquinaria controlada por computadora para automatizar el proceso de fabricación.

CAE: (*Computer-aided Engineering*). Ingeniería asistida por ordenador es el uso de software con el propósito de simular y analizar diseños de productos, ensamblajes y sistemas.

CAVE: (*Cave Assisted Virtual Environment*). Herramienta de visualización, del tamaño de una habitación, que crea en uno o más usuarios la ilusión de estar inmersos en un ambiente virtual. Combina alta resolución, proyección estereoscópica y gráficos tridimensionales.

CIM: (*Manufactura integrada por computadora*). Esta se propone utilizar el poder de análisis, cálculo y procesamiento de las computadoras al servicio de la producción de bienes de mercado.

Hardware: Todos los componentes físicos de la computadora y sus periféricos.

HMD: (*Head Mounted Display*). Pantalla montada en la cabeza son gafas de realidad virtual. También pueden considerarse HMZ o Vuzix.

Holograma: Imagen tridimensional creada por proyección fotográfica.

Ingeniería concurrente: Filosofía orientada a integrar sistemáticamente y en forma simultánea el diseño de productos y procesos, para que sean considerados desde un principio todos los elementos del ciclo de vida de un producto, desde la concepción inicial hasta su disposición final.

Ingeniería inversa: Proceso de descubrir los principios tecnológicos de un objeto, herramienta, dispositivo o sistema, mediante el razonamiento abductivo.

Inmersión: Es una capacidad de la percepción humana que permite sentirse dentro de un dispositivo de realidad virtual como si se estuviera físicamente en otro lugar. Existen diferentes niveles de inmersión según cuántos sentidos o experiencias se emulen [inmersión espacial, táctil, motora, cognitiva, emocional...]. No conviene confundirlo con la presencia.

Interfase: Elemento de transición o conexión que facilita el intercambio de datos. El teclado, por ejemplo, es una interfase entre el usuario y la computadora.

Prototipo virtual: Es una tecnología relativamente nueva que involucra el uso de la realidad virtual (VR) y otras tecnologías computacionales para crear prototipos digitales.

Rapid prototyping: Forma de fabricar prototipos solo mediante programas de cómputo (*software*); utiliza gráficas avanzadas y ambientes de realidad virtual que permiten a los diseñadores examinar una parte, hoy en día también se suele utilizar la impresión 3D como parte del rapid prototyping.

Realidad virtual: Simulación de un ambiente real o imaginario que se puede experimentar visualmente en tres dimensiones. La realidad virtual puede proporcionar una experiencia interactiva de percepción táctil, sonora y de movimiento.

Software: Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Método
<p>¿Un sistema de gestión y visualización utilizando realidad virtual en el CAD permitirá disminuir los costos y tiempos en el proceso de desarrollo de productos?</p>	<p>Implementar un sistema de gestión y visualización de diseños CAD mediante la realidad virtual, que permita experimentar, validar, reducir los riesgos en un entorno inmersivo, interactivo y configurable que disminuya los costos y tiempos en el proceso de desarrollo de nuevos productos.</p>	<p>Con la implementación de un sistema de gestión y visualización de diseños CAD mediante la realidad virtual, las empresas de diseño y manufactura podrán experimentar, validar, reducir los riesgos en un entorno inmersivo, interactivo configurable, reducir los costos, tiempos en el ciclo de vida de un producto de manera significativa.</p>	<p>Metodología: experimental</p> <p>Tipo: Preexperimental</p> <p>Enfoque: cualitativo</p> <p>Población: 10</p> <p>Muestra: 5</p> <p>Técnica de recolección de datos: Encuesta, entrevista, análisis documental y observación</p>
<p>Problema específico</p> <p>¿Utilizando la realidad virtual en el CAD se podrá obtener información más acertada del concepto, de esta forma corregir y validar en un entorno inmersivo real?</p>	<p>Objetivo específico</p> <p>Demostrar que utilizando la realidad virtual en el CAD se podrá obtener información más acertada del concepto de un producto, de esta forma corregir y validar en un entorno inmersivo.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>Con el uso de la realidad virtual en el CAD se podrá obtener información más acertada del concepto, de esta forma corregir y validar en un entorno inmersivo real.</p>	<p>Técnica de procesamiento de datos: tabulación, cuadros y gráficos.</p>
<p>¿Implementando un sistema de realidad virtual se logrará una mejor interrelación entre el diseño, el análisis y</p>	<p>Implementar un sistema de realidad virtual que logre una mejor interrelación entre el</p>	<p>Al implantar un sistema de realidad virtual se logra una mejor interrelación entre el diseño con el análisis y herramientas de simulación, de esta</p>	

<p>herramientas de simulación con más acierto?</p>	<p>diseño, el análisis y herramientas de simulación.</p>	<p>forma evitar la pérdida de datos en el intercambio entre distintas herramientas tecnológicas.</p>
<p>¿Un prototipo virtual en un entorno inmersivo facilitará el ensamble y desensamble del producto y verificar la facilidad de uso?</p>	<p>Demostrar que un prototipo virtual en un entorno inmersivo facilitará el ensamble y desensamble del producto y verificar su facilidad de uso.</p>	<p>Un prototipo virtual en un entorno inmersivo facilita el ensamble y desensamble del producto, verificar la facilidad de uso, incluso si esta es realizada por más de una persona.</p>
<p>¿En un modelo 3D y en un espacio de realidad virtual será más sencillo percibir y juzgar el contexto de profundidad frente a un modelado CAD bidimensional? Siendo en un espacio 3D más deseable una imagen realista y no formas abstractas y geométricas.</p>	<p>Determinar que un modelo 3D en un espacio de realidad virtual es más sencillo percibir y juzgar el contexto de profundidad frente a un modelado CAD bidimensional.</p>	<p>Frente a un modelado CAD bidimensional, en la realidad virtual y en un espacio 3D se facilita percibir y juzgar el contexto de profundidad, además de que en un espacio 3D es deseable una imagen realista y no formas abstractas y geométricas.</p>

Anexo 2: Matriz de operacionalización

Variable independiente

Variables	Definición conceptual	Dimensiones		Indicadores
Sistema de gestión y visualización de CAD utilizando realidad virtual	Conjunto ordenado de procesos, acciones y tareas que se llevan a cabo sobre un grupo de recursos que utilizan el diseño asistido por computadora en un entorno virtual, inmersivo, tridimensional con el objetivo de mejorar las necesidades y expectativas del cliente.	Procesos		Eficacia Eficiencia Calidad
		Diseño asistido por computadora		Hardware Software
		Entorno inmersivo	virtual	Sentidos Escala visual Escala háptica

Variable dependiente

Variables	Definición conceptual	Dimensiones		Indicadores
Disminuir costos y tiempos en el desarrollo de productos.	El desarrollo de un producto es el proceso de crear y llevar un nuevo artículo al mercado, en el que previamente se ha llevado a cabo operaciones para la disminución de tiempos y costos, para generar una mayor ganancia.	Operativa		Rapidez en el diseño del producto. Calidad de los diseños del producto.
		Competitiva		Funcionalidad. Cantidad de dinero que gasta para el desarrollo de un producto.
		Económica		Disponibilidad económica para cubrir ese gasto. Costos de diseño. Rentabilidad. ROI. Costos de material.

Anexo 3: Encuesta/instrumento de evaluación

Formulario de preguntas de inicio de investigación

Nombre y Apellido

Edad

Nombre de la Empresa

Instrucciones:

Las preguntas son de opciones múltiples, se les ruega responder a todas si alguna queda en blanco se considerará como **no sabe/no contesta**.

1. ¿Cuál es su puesto de trabajo en la empresa?

Jefe de diseño técnico	
Diseñador CAD	
Responsable de los procesos de producción	
Otros	

2. ¿Cuál es su nivel educativo?

Secundaria completa	
Técnica superior	
Universitaria	
Otros	

3. ¿Tiene usted dominio de software CAD?

Sí	
No	

4. ¿En los últimos 3 años se ha actualizado en el uso de software CAD?

Sí	
No	

5. ¿Qué tipo de software CAD Utiliza?

<i>SolidWorks</i>	
<i>Inventor</i>	
<i>Pro/Engineer</i>	
<i>Catia</i>	
<i>Fusion 360</i>	
<i>Microstation</i>	
<i>AutoCad</i>	
<i>SolidEdge</i>	
Otros	

6. ¿Qué formación tiene en el uso del software CAD?

Formación básica	
Formación media	
Formación superior	
Formación profesional con certificación	

7. En el ambiente CAD seleccionado trabaja en:

Dos dimensiones (2D)	
Tres dimensiones (3D)	
Ambos	

8. ¿En el desarrollo de diseños utiliza varios softwares CAD?

Sí	
No	

9. ¿Utiliza un módulo específico en el software CAD?

Sí	
No	

10. ¿El software CAD con el que diseña trabaja en un ambiente colaborativo?

Sí	
No	

11. ¿Tienen un sistema para la gestión de archivos CAD?

Sí	
No	

12. ¿Qué nivel de satisfacción tienen en el uso del CAD en la empresa? 0-nula y 10-máxima.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

13. ¿Para realizar CAD/CAE utiliza un mismo software?

Sí	
No	

14. ¿Qué tipo de cálculos, análisis o simulaciones realizan?

Proceso de fabricación: estampación, inyección, forja, otros.	Sí	No
Mecánicos o estructurales	Sí	No
Circuitos electrónicos	Sí	No
Térmicos o termodinámicos	Sí	No
Otros	Sí	No

15. ¿Con que objetivo realiza estos análisis?

Diseño y validación del producto	Sí	No
Diseño o validación del proceso de fabricación	Sí	No
Ergonomía	Sí	No
Gestión de la producción	Sí	No

16. Realiza validaciones de los resultados del CAE

Sí	
No	

17. ¿Está usted satisfecho con el uso del CAD/CAE en la empresa? 0-nula y 10-máxima.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

18. ¿Considera que el modo de trabajo utilizado por la empresa en el diseño de productos es la adecuada? 0-nula y 10-máxima.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

19. ¿La empresa realiza prototipos físicos para realizar los análisis antes de obtener el producto final para producción?

Sí	
No	

20. ¿Los prototipos son realizados en las instalaciones de la empresa?

Sí	
No	

21. ¿Cuánto tiempo se demoran en elaborar los prototipos físicos?

1 a 3 meses	
3 a 6 meses	
6 a 9 meses	

22. ¿Facilitaría su trabajo de diseño si el proceso de prototipado fuera en menor tiempo?

Sí	
No	

23. ¿Utiliza prototipos digitales para la validación?

Sí	
No	

24. ¿Qué grado de confianza tiene si usted utiliza prototipos digitales? Solo si respondió afirmativamente la pregunta 23.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

25. ¿Los computadores que utiliza son solo para uso del diseño CAD/CAE?

Sí	
No	

26. ¿Considera que la empresa está en constante innovación?

Sí	
No	

27. ¿La empresa promueve la capacitación en el uso de nuevas tecnologías?

Sí	
No	

28. ¿La empresa capacita constantemente a los especialistas diseñadores CAD?

Sí	
No	

29. ¿Considera que la empresa debe mejorar los procesos de diseño y manufactura?

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

30. ¿Se adapta usted rápidamente al uso de una nueva tecnología?

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
<input type="checkbox"/>				

31. ¿Qué otras tecnologías de fabricación utilizan en la empresa?

CAM	<input type="checkbox"/>
NC/CNC	<input type="checkbox"/>
CIM	<input type="checkbox"/>
PLM	<input type="checkbox"/>
Realidad Virtual	<input type="checkbox"/>
Ingeniería Inversa	<input type="checkbox"/>
Impresión 3D	<input type="checkbox"/>
Otras	<input type="checkbox"/>

32. ¿Conoce la tecnología de realidad virtual?

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

33. ¿En su trabajo ha utilizado la tecnología de realidad virtual? Solo si respondió afirmativamente la pregunta 27

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

*Estas preguntas se realizaron luego de la exposición sobre realidad virtual y manufactura.

34. Luego de la exposición sobre realidad virtual consideraría utilizar en su trabajo de diseño de nuevos productos.

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

35. Luego de la exposición cree usted que mediante la realidad virtual podrá validar sus diseños.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

36. Luego de la exposición cree usted que la realidad virtual podría facilitarle el ensamble, desensamble del producto en la fase de diseño y verificar los encajes.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

37. Luego de la exposición considera que la realidad virtual sería un complemento para el análisis en un sistema CAE.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

38. Luego de la exposición considera que la realidad virtual le ayudaría en la presentación de sus productos a los usuarios.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Formulario de preguntas de final de investigación

Nombre y Apellido

Edad

Nombre de la Empresa

Instrucciones:

Las preguntas son de opciones múltiples, se les ruega responder a todas si alguna queda en blanco se considerará como **no sabe/no contesta**.

1. Considera usted luego de la experiencia que mediante la realidad virtual pudo validar sus diseños.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

2. Considera usted luego de la experiencia que la realidad virtual le facilitó el ensamble, desensamble del producto en la fase de diseño y verificar los encajes.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

3. Considera usted luego de la experiencia que la realidad virtual es un complemento para el análisis en un sistema CAE.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

4. Considera usted luego de la experiencia que la realidad virtual le ayudó en la presentación del producto a los departamentos de ingeniería, ventas y marketing.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

5. Considera usted luego de la experiencia que al utilizar la realidad virtual le permitió revisar la geometría del modelo.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

6. Considera usted luego de la experiencia que ya no es necesario desarrollar varios prototipos físicos.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

7. Considera que enviar el prototipo digital directamente a la maquina CNC agilizará el proceso de creación de nuevos productos.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

8. Considera usted importante tener todos los softwares CAD/CAE/CAM integrados en una sola plataforma tal como plantea la Manufactura Virtual.

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Anexo 4: Validez de instrumentos por Jueces Expertos

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

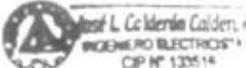
- I.1. Apellido y nombre del informante: CALDERON CALDERON JOSE LUIS
- I.2. Grado Académico: MAGISTER EN INGENIERIA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION
- I.3. Profesión: INGENIERO ELECTRICISTA
- I.4. Institución donde labora: SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA MARINA S.A.
- I.5. Cargo que desempeña: ANALISTA DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
- I.6. Denominación del instrumento: Cuestionario
- I.7. Autor: Lic. Luis Eduardo Ruiz Gamarra

II. VALIDACIÓN

Indicadores de Evaluación	CRITERIOS	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
		1	2	3	4	5
Claridad	Las preguntas están formuladas con un lenguaje apropiado fácil de comprender.					X
Objetivo	Las preguntas son observables y medibles.					X
Consistente	Los contenidos están organizados de forma lógica y guardan relación con la teoría.					X
Coherencia	Existen relación con los indicadores de las variables.					X
Pertinencia	Los valores a las preguntas son los apropiados.					X
Suficiencia	Es suficiente la cantidad y calidad de las preguntas planteadas.					X
Sumatoria						30

III. Resultados

- 3.1. Valoración total: 30
- 3.2. Opinión:
 - FAVORABLE (X)
 - DEBE MEJORAR ()
 - NO FAVORABLE ()
- 3.3. Observaciones. Ninguna

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
I. DATOS GENERALES

1.1. Apellido y nombre del informante: LOPEZ VASQUEZ, NESTOR

1.2. Grado Académico: INGENIERO

1.3. Profesión: INGENIERO ELECTRICO

1.4. Institución donde labora: CME – PERU S.A.C.

1.5. Cargo que desempeña: SUPERVISOR - COORDINADOR

1.6. Denominación del instrumento: Cuestionario

1.7. Autor: Lic. Luis Eduardo Ruiz Gamarra

II. VALIDACIÓN

Indicadores de Evaluación	CRITERIOS	Muy malo 1	Malo 2	Regular 3	Bueno 4	Muy bueno 5
Claridad	Las preguntas están formuladas con un lenguaje apropiado fácil de comprender.					X
Objetivo	Las preguntas son observables y medibles.					X
Consistente	Los contenidos están organizados de forma lógica y guardan relación con la teoría.					X
Coherencia	Existen relación con los indicadores de las variables.					X
Pertinencia	Los valores a las preguntas son los apropiados.					X
Suficiencia	Es suficiente la cantidad y calidad de las preguntas planteadas.					X
Sumatoria						30

III. Resultados

3.1. Valoración total: 30

3.2. Opinión:

- FAVORABLE (X)
- DEBE MEJORAR ()
- NO FAVORABLE ()

3.3. Observaciones. Ninguna



 NESTOR LOPEZ VASQUEZ
 INGENIERO ELECTRICISTA

Anexo 5: Constancia emitida por la institución donde se realizó la investigación



Av. El Derby 250, SURCO -Lima-
Av. Giráldez 229, HYO- Junín -
Teléf. 0051 064 218800
0051 964510918

Lima, octubre del 2019

Señoras Autoridades
Universidad Científica del Sur

Estimados y Distinguidos Señores:

Saludándolos cordialmente y deseándoles mis parabienes, el presente documento tiene por finalidad comunicar que el Sr. Luis Eduardo Ruiz Gamarra con DNI 20056454 cuenta con el permiso respectivo para realizar el proyecto de tesis en nuestra empresa, el mismo que tendrá acceso a la documentación requerida y el apoyo de nuestro personal a requerimiento.

Además, se hace constancia de que el uso de la información relacionada con la documentación y el personal (Diseñadores e Ingenieros de planta) es solo con fines relacionados a la sustentación de la tesis en la Universidad Científica del Sur y no se mostrara o divulgará esta información en temas que no tengan que ver con la educación.

Atentamente,



Carlos Santos Rodriguez
GERENTE GENERAL

Ing. Carlos Santos Rodriguez
Gerente General

Anexo 6: Imágenes de instrucción del uso de la tecnología de realidad virtual e imágenes de aplicación de un sistema de VR en el CAD.



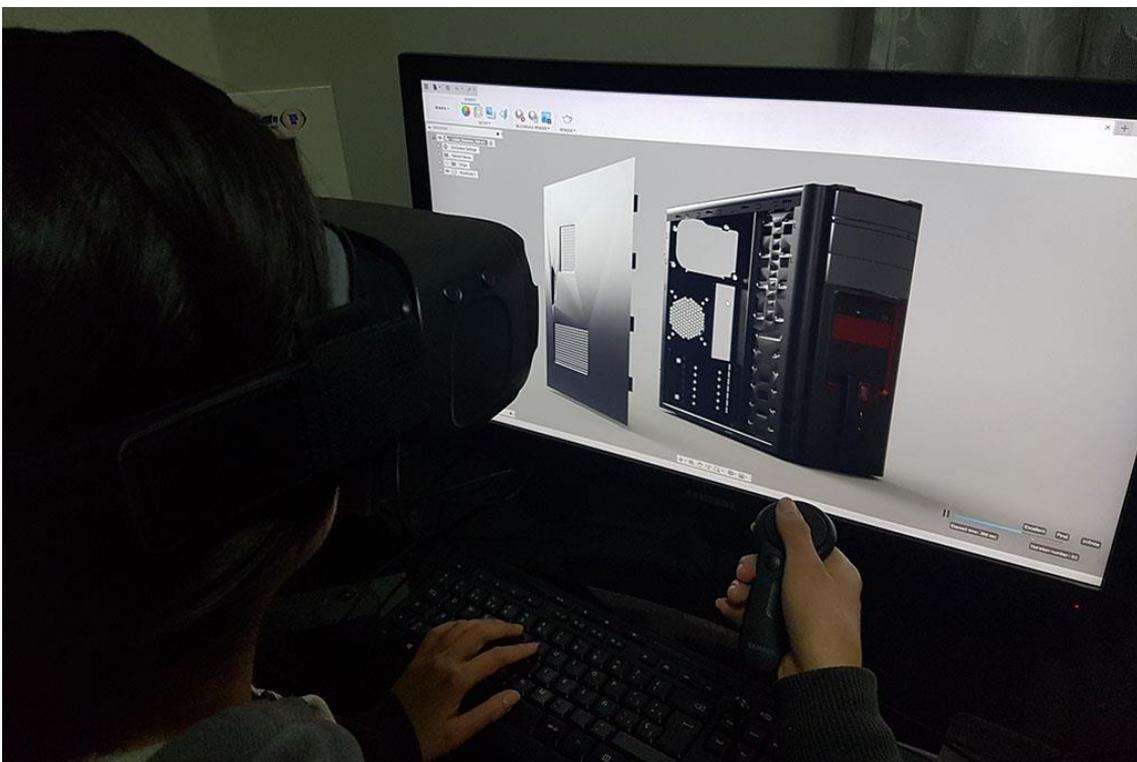
Fotografía 01: El investigador realizando el entrenamiento sobre tecnologías de realidad virtual.



Fotografía 02: El investigador mostrando distintos dispositivos para realidad virtual (Google cardboard).



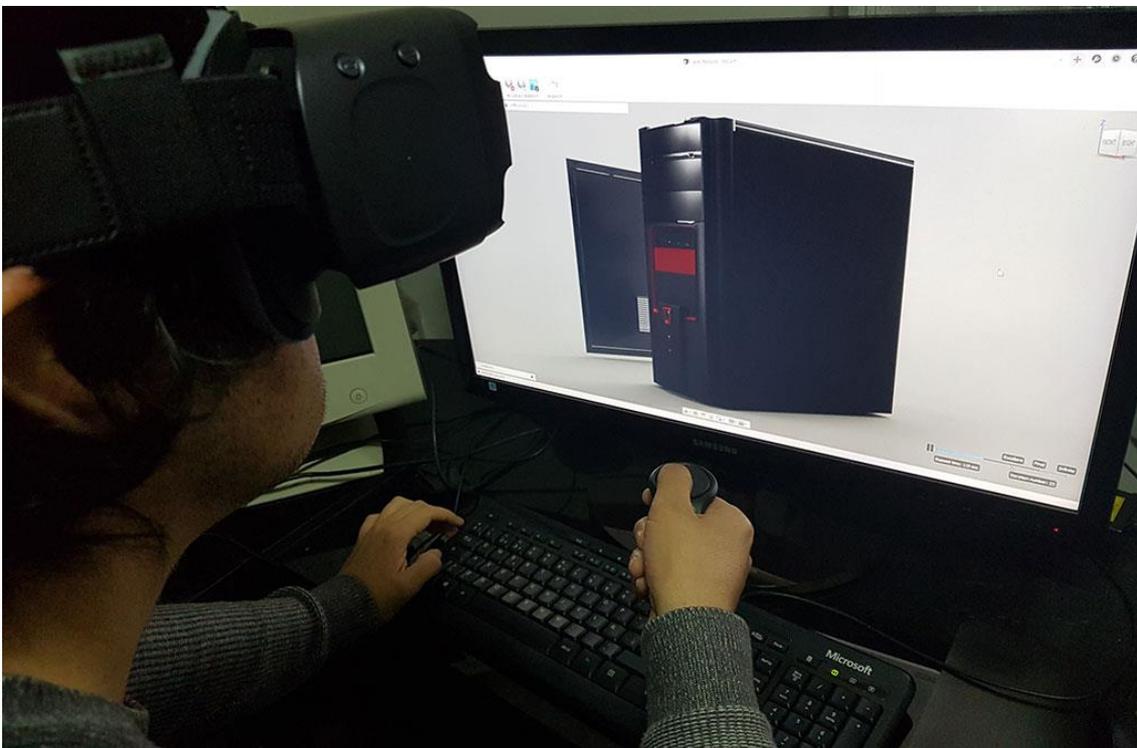
Fotografía 03: El investigador realizando una comparativa entre distintos tipos de dispositivos para realidad virtual.



Fotografía 04: La Srta. diseñadora realizando pruebas y evaluación del prototipo digital.



Fotografía 05: La Srta. diseñadora realizando cambios de materiales y texturas dentro del ambiente de realidad virtual.



Fotografía 06: El Ingeniero realizando administración de interferencias y evaluaciones de ensamble.



Fotografía 07: Muestra en el visor de realidad virtual.