

UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**



**Industria 4.0 a través de RV y RA.
Caso de aplicación en Distribución en
planta de fabricación con RV**

TRABAJO FIN DE GRADO

AUTOR: DAVID MARTÍN MORENO
TITULACIÓN: GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

La Laguna, mayo de 2023

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor:

DAVID MARTÍN MORENO

Tutor:

Prof. Dr. JORGE MARTÍN GUTIÉRREZ

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 INDUSTRIA 4.0	5
3.1 CONTEXTO HISTÓRICO	5
3.2 PILARES SOBRE LOS QUE SE FUNDAMENTA LA INDUSTRIA 4.0	8
3.3 TECNOLOGÍAS QUE IMPULSAN LA INDUSTRIA 4.0	15
3.4 IMPLICACIONES FUTURAS	25
4 REALIDAD VIRTUAL	27
4.1 REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA (RVI)	27
5 REALIDAD AUMENTADA	31
5.1 DIGITAL TWIN, REALIDAD MIXTA (MR) y REALIDAD EXTENDIDA (XR)	32
6 CASOS DE APLICACIÓN DE RV, RA y XR	35
6.1 CASOS DE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA	35
6.2 TRANSFORMACIÓN DE DATOS CAD A RV	39
6.3 ENTRENAMIENTO Y FORMACIÓN A TRAVÉS DE RV, RA Y XR	40
6.4 INVESTIGACIÓN ACTUAL EN APLICACIONES INDUSTRIALES	40
7 TEORÍA DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	43
7.1 FACTORES IMPORTANTES A LA HORA DE ELABORAR UNA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	43
7.2 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA SEGÚN SU NATURALEZA	46
7.3 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA SEGÚN EL MOVIMIENTO DE LOS MEDIOS DIRECTOS DE PRODUCCIÓN	47
7.4 SYSTEMATIC LAYOUT PLANNING (SLP)	50
7.4.1 Fases del SLP	52
7.5 MODELOS ESPACIALES PARA SITUAR LAS ACTIVIDADES EN EL DOMINIO DE UBICACIÓN	57
7.5.1 Modelos topológicos	58
7.5.2 Modelos geométricos	60
7.5.3 Modelos analíticos	61
8 DESEMPEÑO DEL TRABAJO	63
8.1 OBJETIVO	63
8.2 MODELO DE NEGOCIO	63
8.3 EDIFICIOS Y MAQUINARIA EMPLEADOS	65
8.3.1 Diagrama relacional de actividades.	69
8.4 METODOLOGÍA	72
8.5 DESARROLLO	75
8.5.1 Aprendizaje de Unreal Engine.	75
8.5.2 Modelado 3D de los entornos virtuales.	80
8.5.3 Texturizado.	87
8.5.4 Entorno RV.	90

8.5.5 Interacciones.	96
8.6 RESULTADOS	97
8.7 CONCLUSIONES	103
9 EXPERIENCIA DEL USO DE RV Y VALORACIÓN PERSONAL.	109
10 BIBLIOGRAFÍA.	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama cronológico de las revoluciones industriales.	7
Figura 2. Crecimiento en el uso de dispositivos IoT.	15
Figura 3. Esquema Cloud Computing y Edge Computing.	20
Figura 4. Comparativa de una Red neuronal tradicional con una basada en Deep Learning.	22
Figura 5. Flujo de trabajo basado en procesamiento de datos mediante Big Data.	25
Figura 6. Realidad virtual inmersiva y no inmersiva.	30
Figura 7. Digital Twin de la ciudad de Singapur.	33
Figura 8. Tipos de distribución en planta según su naturaleza.	47
Figura 9. Distribución por proceso, funciones o talleres.	48
Figura 10. Distribución por producto, cadena o serie.	49
Figura 11. Esquema del Systematic Layout Planning.	51
Figura 12. Gráficas para el Análisis P-Q de distintos tipos de distribución generales.	52
Figura 13. Tabla relacional de actividades.	54
Figura 14. Diagrama relacional de actividades y/o recorridos mediante referencias numéricas.	55
Figura 15. Diagrama relacional de actividades y/o recorridos mediante códigos.	55
Figura 16. Diagrama relacional de espacio.	57
Figura 17. Grafo planar ponderado maximal a partir de la modificación de un diagrama relacional.	59
Figura 18. Construcción de un grafo dual.	59
Figura 19. Layout de bloques.	60
Figura 20. Modelos geométricos (a) unidimensionales, (b) bidimensionales, (c) multiplanta y (d) tridimensionales.	61

Figura 21. Aplicación de Modelos analíticos en función de la distancia entre centros de gravedad.	62
Figura 22. Regloscopio.	66
Figura 23. Opacímetro.	66
Figura 24. Analizador de gases.	67
Figura 25. Detector de Holguras.	68
Figura 26. Frenómetro.	69
Figura 27. Diagrama relacional de actividades para las líneas de inspección de la estación ITV.	70
Figura 28. Diagrama relacional de actividades de la estación ITV.	72
Figura 29. Ventana Content Drawer.	76
Figura 30. Ventana Place Actors.	78
Figura 31. Ventana Outliner.	78
Figura 32. Ventana Detalles.	79
Figura 33. Visualización en Sketchup del modelo 3D de la estación ITV.	81
Figura 34. Plugins para el uso de formatos Datasmith.	82
Figura 35. Plantilla en blanco con herramientas predefinidas.	82
Figura 36. Arreglos en ventanales exteriores generales.	83
Figura 37. Arreglos estructurales en muros.	84
Figura 38. Arreglos estructurales en ventanas superiores interiores.	84
Figura 39. Arreglos estructurales en muros interiores.	84
Figura 40. Arreglos en placas de acero galvanizado de la cubierta.	85
Figura 41. Modelado de los fosos de los detectores de holguras.	86
Figura 42. Colocación de escaleras de carácter aditivo en fosos.	86

Figura 43. Material para la superficie de trabajo a través de Quixel Bridge.	87
Figura 44. Blueprints para el correcto escalado del nuevo material.	88
Figura 45. Antes y después del escalado del material introducido para el plano de trabajo.	89
Figura 46. Visualización de vigas y pilares con la aplicación de acero estructural al carbono como material para texturizado.	90
Figura 47. Texturizado de ladrillos para fachada de edificio.	90
Figura 48. Mapeado HDRI para envolver la estación ITV.	92
Figura 49. Resultado de las líneas de inspección tras su modelado, texturizado y programación.	98
Figura 50. Área eléctrica y de iluminación a la izquierda, y Área de emisiones a la derecha.	99
Figura 51. Área de dirección y neumáticos.	99
Figura 52. Área de frenos y chasis.	100
Figura 53. Edificio de espera zona exterior.	100
Figura 54. Edificio de espera zona interior.	101
Figura 55. Visualización de texturizados y de assets.	101
Figura 56. Acción de teletransporte.	102
Figura 57. Acción combinada de agarre y teletransporte.	102
Figura 58. Colocación de maquinarias y visualización de físicas entre ellas y el plano de trabajo.	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Áreas de oportunidades para la Inteligencia Artificial.	21
Tabla 2. Riesgo de automatización de sectores en Uruguay.	26
Tabla 3. Características de los tipos básicos de distribución en planta.	50
Tabla 4. Escala de valores para la creación de un diagrama relacional de actividades y/o recorridos.	69
Tabla 5. Actividades y áreas de las líneas de inspección de la estación ITV.	70
Tabla 6. Tabla relacional de actividades de las líneas de inspección de la estación ITV.	70
Tabla 7. Actividades de la estación ITV.	71
Tabla 8. Tabla relacional de actividades de la estación ITV.	71

RESUMEN

Durante la realización de este Trabajo de Fin de Grado, se lleva a cabo una exposición exhaustivo sobre los contenidos, implementación e influencia de la Cuarta Revolución Industrial, también conocida como Industria 4.0 en las formas de desarrollar la actividad profesional así como fabricación y elaboración de los productos en el ámbito industrial. Se abordan temas desde las implicaciones futuras que contraerá para el sector industrial, hasta el uso de las tecnologías disruptivas en las que está fundamentada, haciendo un especial énfasis en las tecnologías de Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV), así como detallando los casos de aplicación actuales de las mismas y posibles escenarios futuros. Como caso de aplicación, se ha realizado un estudio de investigación basado en la creación de un entorno de Realidad Virtual Inmersivo (RVI) de una estación de Inspección Técnica de Vehículos (ITV), a través del software de Unreal Engine, cuya finalidad es la de analizar posibles problemas organizativos relativos a la distribución en planta de las líneas de inspección y realizar una búsqueda de mejoras para aumentar su eficiencia y productividad.

ABSTRACT

During the realization of this Bachelor's Degree Final Project, a comprehensive analysis of the Fourth Industrial Revolution, also known as Industry 4.0, is carried out. Addressing topics ranging from the future implications it will have for the industrial sector to the use of disruptive technologies on which it is based, with a particular emphasis of Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) technologies. It also details the current applications of these technologies and potential future scenarios. As a case study, an investigative study has been conducted, focusing on the creation of an Immersive Virtual Reality environment (IVR) for a Vehicle Inspection Station (VIS) using Unreal Engine software. Its purpose is to analyze potential organizational issues related to the layout of inspection lines and seek improvements to enhance their efficiency and productivity.

1 INTRODUCCIÓN

La Industria 4.0 es un término que se ha ganado auge y visibilidad de forma notable en los últimos años. Ha pasado de ser un simple concepto, a convertirse en una realidad tangible en la que cada vez un mayor número de empresas está empezando a hacer uso de él para competir en un mercado globalizado. Esta cuarta revolución industrial, también denominada Industria del Futuro, Innovación 4.0 o Tecnología 4.0, se basa en la aplicación y uso de tecnologías como el Internet de las Cosas (IOT), el Big Data y los sistemas ciber-físicos (robótica, automatización, impresión 3D, realidad virtual y aumentada) entre otros, para mejorar y altamente automatizar sus procesos productivos.

Estas herramientas digitales, junto con la movilidad, la Big Data, los dispositivos conectados y la inteligencia artificial se usan para cambiar la forma en que producimos manufactura y servicios para simplificar la producción, mejorar la calidad de los productos y reducir los costos. La fusión de todas estas tecnologías es lo que se ha denominado como Internet Industrial, o Industria 4.0, ya que se basa en un concepto de tecnologías inteligentes para conectar personas, productos, sistemas de producción y organizaciones. Esto permite a las empresas mejorar la productividad utilizando sistemas de automatización inteligentes, lo que resulta en ahorros significativos en los tiempos de fabricación y entrega.

En el contexto de la Industria 4.0 destacan especialmente los avances en el ámbito de las tecnologías de la realidad virtual (VR). Aunque la realidad virtual se asocia principalmente con el mundo del entretenimiento y los videojuegos, lo cierto es que también juega un papel vital en la Industria 4.0. Los usuarios pueden imitar casi cualquier experiencia de vida real, tanto individualmente como en grupo, con la ayuda de este tipo de tecnología, es decir, pueden realizar tareas que se realizan en la realidad en un entorno virtual y simulado, con fines de entrenamiento y aprendizaje en entornos seguros.

De la misma manera, la Industria 4.0 se beneficia de la realidad virtual para mejorar la productividad y la seguridad en el lugar de trabajo. La realidad virtual reduce el tiempo de formación, ya que los trabajadores pueden practicar en entornos seguros antes de que la nueva tecnología se implemente. Esto reduce potencialmente el nivel de riesgo en la producción al introducir a los trabajadores a diferentes tareas sin asumir un riesgo innecesario. La realidad virtual también es una herramienta útil para el diseño de productos, el análisis de diseño, la optimización de los flujos de trabajo y la mejora de la productividad a largo plazo. En general, la Industria 4.0 ofrece una serie de beneficios y oportunidades para mejorar la productividad, competitividad y calidad de la producción. Esta tecnología digital avanzada es un medio invaluable para conectar a individuos, empresas y sectores, mejorando el comercio y la cooperación entre economías mundiales. Con el respaldo de la tecnología de la realidad virtual, la Industria 4.0 promete un futuro innovador en el que la producción se impulsa sin límites.

Por otra parte, es necesario comentar que actualmente la transformación digital está revolucionando la industria en España, abriendo la puerta a la creación de nuevas oportunidades y a una nueva forma de trabajar. Esta transformación ha facilitado la adopción de nuevas tecnologías que permiten a las empresas ser más conectadas, más ágiles y productivas. El uso de IoT (Internet de las Cosas) se ha convertido en un elemento clave para la industria digital. Ha mejorado la seguridad para proteger datos y dispositivos y ha permitido a las empresas ser más productivas al desarrollar nuevos productos y servicios. La adopción de la inteligencia artificial también se ha hecho una parte esencial para llevar la industria española a un nuevo nivel, permitiendo una gestión mejorada, toma de decisiones más precisas y uso de la información para mejorar la productividad. Además del uso de tecnología de IoT y AI, la transformación digital también se está acelerando con la adopción de herramientas de colaboración como la teleasistencia y herramientas de comunicación en red para hacer un trabajo más eficiente, flexible y colaborativo. Los avances en computación en la nube y el almacenamiento de datos también han mejorado el rendimiento y la eficacia de los procesos de negocio. En definitiva, la transformación digital en la industria española ha supuesto un avance significativo en el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar la productividad, la seguridad y la flexibilidad de los procesos de negocio. Esto, a su vez, ha abierto una enorme cantidad de nuevas oportunidades para la industria de España.

2 OBJETIVOS

En vista al reciente crecimiento disruptivo de la tecnología, y su aplicación en la transformación digital industrial en nuestro país, este Trabajo de Fin de Grado pretende realizar una intervención de estudio en este nuevo escenario de Industria 4.0, enfocándose primordialmente en el uso de la Realidad Virtual aplicada en la toma de decisiones para el diseño de distribución en planta de los equipos, maquinaria y herramientas para desarrollar específicos procesos de trabajo. En concreto, como caso de aplicación, se aborda la distribución en planta de un modelo de negocio de Inspección Técnica de Vehículos (ITV), utilizando la Realidad Virtual para crear un entorno inmersivo como medio de visualización para distribuir los elementos necesarios y crear así una distribución óptima de procesos y reorganización de las áreas de trabajo que lo conforman. Se estudian, además, las principales ventajas y desventajas del uso de estas tecnologías, los principales casos de aplicación y la importancia de la distribución en planta mediante análisis teóricos.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A la vista de lo indicado en párrafo anterior, se pueden enunciar los siguientes objetivos a realizar en este trabajo:

- Exponer los fundamentos en los que se basa la transformación digital de la industria, también conocido como Industria 4.0
- Exponer y aprender los fundamentos teóricos de análisis de distribución en planta o layout. Una buena optimización de este concepto mejora drásticamente el rendimiento de la producción.
- Diseñar un modelo 3D de un edificio industrial que sirva para albergar las instalaciones industriales para llevar a cabo la actividad de inspección técnica de vehículos (ITV).
- Diseñar los modelos 3D de los elementos necesarios que representen máquinas, herramientas, mobiliario etc... que deben estar presentes en un edificio donde se lleva a cabo la actividad de ITV.
- Crear un entorno inmersivo de realidad virtual como medio de visualización para distribuir los elementos necesarios.
- Posibilitar la interacción / manipulación de los elementos virtuales en el entorno de trabajo virtual, para que el entorno sea considerado como realidad virtual interactiva (RVI).
- Utilizando la interactividad y manipulación de los elementos virtuales, crear una distribución óptima de procesos y reorganización de las áreas de trabajo de un centro de Inspección técnica de vehículos en un entorno virtual.

- Analizar las principales ventajas y desventajas del uso de tecnologías de realidad virtual en la aplicación de la toma de decisiones.
- Analizar las posibles optimizaciones a realizar en este caso de aplicación específico de una estación de Inspección Técnica de Vehículos (ITV), para extrapolar los resultados a otros modelos de negocio similares.

3 INDUSTRIA 4.0

3.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Con el fin de llevar a cabo este estudio teórico y de investigación, se establece en primer lugar un contexto histórico acerca del surgimiento de la cuarta revolución industrial, más comúnmente conocida como Industria 4.0, para ello es imprescindible entender cómo surgieron sus precursoras a lo largo de la historia.

La **primera revolución industrial**, tuvo lugar en Gran Bretaña a mediados del siglo XVIII. Marcó el comienzo de una disrupción en la industria tradicional. Este cambio fue impulsado por la invención de la primera máquina de vapor, creada por Thomas Newcomen y perfeccionada posteriormente por James Watt en 1785. Este hito tecnológico desencadenó una serie de transformaciones interrelacionadas que reemplazaron la dependencia de la energía humana y animal por el uso de energía inanimada basada en el vapor y la energía hidráulica.

En el campo de la ingeniería, esta revolución permitió una transición radical desde la tecnología agrícola y artesanal hacia la mecanización de los procesos, sustituyendo el trabajo manual por el trabajo de las máquinas. Además, impulsó el crecimiento de sectores industriales como la industria textil, la metalurgia, la siderurgia y, fundamentalmente, el transporte. Se produjo un cambio desde el uso de la energía generada por la rueda hidráulica hacia la energía térmica, siendo el carbón el principal suministro energético utilizado.

La **segunda revolución industrial** surgió a finales del siglo XIX y se caracterizó por importantes avances científicos y tecnológicos, así como por la expansión hacia otros países como Francia, Alemania, URSS, EE.UU. y Japón, desplazando a Inglaterra como líder industrial.

Esta etapa se conoce como la era eléctrica, debido a los avances en este campo, y destacó por la introducción de diversos medios de comunicación eléctricos, el desarrollo de la industria química, así como avances significativos relevantes al transporte aéreo y terrestre. Durante este periodo, se llevaron a cabo inventos y descubrimientos trascendentales, como el primer motor diésel creado por Rudolf Diesel, la radio inventada por Guillermo Marconi, el automóvil desarrollado por Karl Friedrich Benz, el avión creado por los hermanos Wright, el telégrafo desarrollado por Samuel Morse, el teléfono inventado por Graham Bell y la bombilla patentada por Thomas Alva Edison.

Las principales fuentes de energía utilizadas durante esta revolución fueron la electricidad y el petróleo como combustible, lo que resultó en un notable aumento e innovación en el sector de la producción en grandes proporciones.

La **tercera revolución industrial**, tuvo lugar a mediados del siglo XX y es conocida como la revolución del conocimiento y las tecnologías de la información. Esta época estuvo caracterizada por el surgimiento y el veloz avance sin precedentes de la electrónica, la bioingeniería, los ordenadores, las telecomunicaciones, los dispositivos móviles, el desarrollo de software y la robótica., entre otras.

El impacto que ocasionó esta revolución dotó a la industria de una modernización en los procesos de producción, gracias a la incorporación de la automatización basada en controladores lógicos programables (PLC) y la robotización. Ello provocó que las empresas invirtieran más en tecnología que en mano de obra, generando una mayor distinción entre los países desarrollados y subdesarrollados en términos económicos y sociales.

En términos de energía, se continuaron usando las mismas fuentes de energía que durante la segunda revolución industrial, pero se produjo la incursión de la energía nuclear, y el inicio de las investigaciones de energías alternativas como la eólica, solar, biomasa, geotérmica, mareomotriz, entre otras.

La **cuarta revolución industrial**, también conocida como Industria 4.0, es la realidad actual, estamos en relevantes cambios y transformaciones en el ámbito industrial. Este tema es uno de los pilares que conforman este trabajo de fin de grado.

El término “Industria 4.0” surgió por primera vez en la Feria de Hanover en Alemania en 2011, durante la crisis financiera, como una respuesta para fomentar la creación de empleo e impulsar la innovación en el ámbito denominado como “fábrica inteligente”. La Industria 4.0, se define como la digitalización de los sistemas y de los procesos industriales, su interconexión mediante el Internet de las Cosas (IoT) y el Internet de los Servicios, con el fin de conseguir una mayor flexibilidad e individualización de la producción. La visión de las fábricas inteligentes implica una transformación digital de toda la industria, mediante la integración de tecnologías disruptivas que dotan a la industria de soluciones flexibles y totalmente autónomas. Estas tecnologías serán desarrolladas con mayor detenimiento en capítulos posteriores.

Las denominadas fábricas inteligentes, poseen sensores avanzados, software integrado y un alto grado de robótica que recopilan y analizan datos. Permiten una mejor toma de decisiones, favorecen la eficiencia, la productividad, y aumentan notablemente la flexibilidad que tienen los fabricantes para satisfacer las demandas de los clientes a través de una personalización masiva del producto, adaptándose óptimamente a las necesidades individuales de cada cliente. El valor de estas fábricas se incrementa cuando se combinan los datos de producción con los datos operativos de la empresa, como la arquitectura de software o las bases de datos ERP, que simplifican la transferencia de información entre las funciones de manufactura, logística, finanzas y recursos humanos de una empresa. Además, se integran en la cadena de suministro, el servicio de atención al cliente y otros sistemas empresariales empleados para crear nuevos niveles de visibilidad y conocimiento

del mercado gracias a la información recopilada. El análisis de estas grandes bases de datos permite conocer en tiempo real el rendimiento de los activos de fabricación y se puede utilizar como una herramienta para realizar un mantenimiento predictivo que minimice el tiempo de inactividad.

La incorporación de estas tecnologías digitales en las industrias representa una vereda a seguir para optimizar aún más la automatización, el mantenimiento predictivo y la mejora de los propios procesos de fabricación del producto, entre otros aspectos. Sin embargo, actualmente sigue siendo un reto establecer un estándar mundial que permita la adopción generalizada de la industria 4.0. No obstante, existen dos arquitecturas de referencia destacadas: RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industrie 4.0) desarrollada por la organización alemana I4.0 Plattform, y el IIRA (Industrial Internet Reference Architecture) desarrollada por Estados Unidos mediante el Industrial Internet Consortium. El IIRA analiza la Industria del Internet de las cosas en multitud de industrias haciendo énfasis en aspectos comunes y de interoperabilidad. El RAMI 4.0 se enfoca en la fabricación y los ciclos de vida relacionados con la cadena de valor. Sin embargo, un punto común entre ambos recae en la importancia de la interoperabilidad entre sistemas, independientemente del estándar utilizado.

En la Figura 1 se muestra a modo de resumen, un diagrama cronológico de todas las revoluciones industriales surgidas a lo largo de la historia.

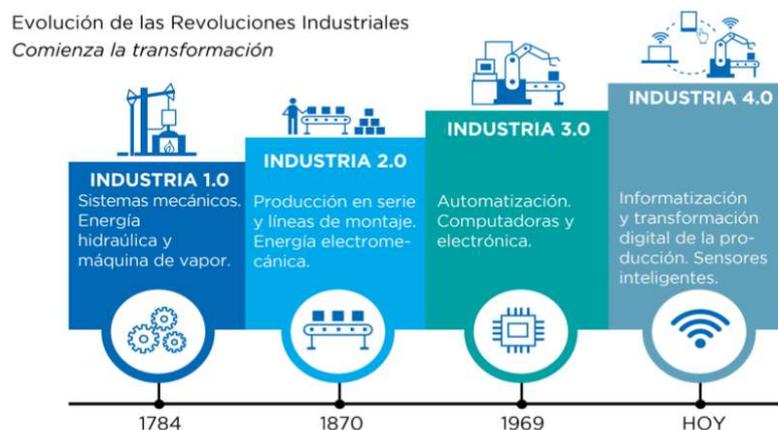


Figura 1. Diagrama cronológico de las revoluciones industriales. Fuente: Extraído de Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). Industria 4.0: fabricando el futuro (Vol. 647). Inter-American Development Bank.

En los últimos meses se habla de Industria 5.0, que podemos considerar que es un término para extender las posibilidades de industria 4.0.

Donde la Industria 4.0 pone a las tecnologías inteligentes en el centro de la fabricación y las cadenas de suministro, la Industria 5.0 consiste en aumentar esa transformación digital con una colaboración más significativa y eficiente entre los

humanos y las máquinas y sistemas dentro de su ecosistema digital. La asociación entre humanos y máquinas inteligentes se relaciona con la precisión y la velocidad de la automatización industrial con las habilidades de creatividad, innovación y pensamiento crítico de los humanos.

Por lo tanto, la Industria 5.0 no representa tanto otra Revolución Industrial, sino que sirve para aumentar las tecnologías de la Industria 4.0 fortaleciendo la colaboración entre humanos y robots. Con la Industria 5.0, la Industria 4.0 se expande con el impulso de colocar la creatividad y el bienestar humano en el centro de la industria, y así fusionar la velocidad y eficiencia de las tecnologías de máquinas con el ingenio y el talento de las personas.

3.2 PILARES SOBRE LOS QUE SE FUNDAMENTA LA INDUSTRIA 4.0

Como mencionamos esta revolución en la industria está densamente vinculada a la tecnología, orientada a una completa digitalización de la industria. Esta revolución se divide en una serie de pilares principales que la componen completamente. Estos pilares son la fabricación aditiva, la realidad aumentada, los robots autónomos, el Big Data, la conectividad en la nube, la ciberseguridad, el internet de las cosas (IoT), la simulación, y los gemelos digitales. Cuando se combinan estas tecnologías, forman una nueva industria rica en tecnología de avanzada. La fabricación aditiva permite una impresión 3D a nivel industrial, lo que significa que tecnologías como las impresoras 3D pueden ser usadas para crear productos en menos tiempo y una mayor precisión. Esto también reduce el desperdicio de materiales e incluso se ha usado para fabricar productos personalizados. La fabricación aditiva es una herramienta increíblemente útil para la industria 4.0.

La Realidad Aumentada (AR), ha cambiado la forma en que interactuamos con el mundo, abriendo varias y nuevas oportunidades de aprendizaje en cualquier industria. La realidad aumentada y virtual mejora el aprendizaje, ofreciendo experiencias visuales e interactivas que ayudan a fijar los conceptos en la mente. Esta tecnología ha cambiado la forma en que la industria moderna educando a sus miembros y facilitando su proceso de aprendizaje.

La presencia de robots autónomos aunque está empezando a ser explotada, ya se ha demostrado que es una herramienta increíblemente útil en la industria. Los robots modernos son autónomos, lo que significa que no requieren de humanos para llevar a cabo sus tareas. Esto le da a la industria más tiempo para dedicarse a otras tareas sin tener que preocuparse por la vida útil de los robots.

Otro gran aspecto de la industria 4.0 es el Big Data. El Big Data es una rama de la tecnología que se encarga de la recolección y el procesamiento de datos masivos. Esta tecnología busca entender mejor a los usuarios, lo que significa que se pueden hacer mejores productos y servicios según las opiniones de los usuarios. Además, el Big Data también es usado para identificar patrones en los datos, lo que permite

a la industria anticiparse a los cambios del mercado. De la misma forma, la Conectividad en la Nube también es un pilar importante para la industria 4.0 que permite a los dispositivos estar conectados a la nube donde se almacenan y comparten todos los datos. Esto significa que todos los dispositivos, robots, y otras tecnologías estarán conectados y comunicarse entre sí, lo que le da mucha más flexibilidad al sistema. Por su parte, la Ciberseguridad es un aspecto esencial de la industria 4.0 debido a que todos los dispositivos se comunican entre sí, es necesario proteger los mecanismos de la ciberseguridad para garantizar la privacidad de los usuarios. Este pilar también se ocupa de garantizar la integridad de los datos, ya que los dispositivos se comunicarán con la nube para compartir información. Otro pilar importante es el Internet de las Cosas (IoT) que junto con la conectividad en la nube, permite a los dispositivos interactuar entre sí a través de internet. Esto significa que será posible para los dispositivos y las máquinas estar conectados entre sí a través de la red, y les permitirá compartir datos y solucionar problemas. La simulación también forma parte de los pilares de la industria 4.0 permitiendo a la industria simular su proceso de producción antes de realizar la producción real. Esto significa que los problemas pueden ser detectados antes de que la producción real comience, lo que ahorra tiempo y recursos a la industria. Finalmente, los gemelos digitales son un elemento clave de la industria 4.0. Esta tecnología se usa para monitorizar los dispositivos, ayudando a la industria a detectar los problemas antes de que se produzcan. Los gemelos digitales también proporcionan datos sobre cómo funciona la máquina, permitiendo a los gestores mantener un control preciso sobre sus procesos de producción.

Todas estas tecnologías llevan a la industria moderna a un nuevo nivel de tecnología avanzada, que juntas ofrecen muchas nuevas oportunidades de innovación y productividad a la industria moderna.

Se desarrollan a continuación algunas de estas tecnologías de forma más extensa:

Fabricación aditiva

Las empresas han comenzado a utilizar la tecnología de impresión 3D con fines de fabricación de prototipos y componentes individuales. Este enfoque proporciona un enorme potencial gracias a los diversos sistemas y tecnologías de fabricación avanzada que permiten la creación de piezas más complejas y con características únicas que serían difíciles de lograr a través de medios tradicionales.

Entre las principales ventajas de la fabricación aditiva se encuentra la integración funcional, que permite la reducción del número de componentes y uniones en un conjunto. Además, se puede lograr una personalización y optimización de productos a niveles inimaginables. La capacidad de establecer sistemas de producción descentralizados contribuye notablemente a la reducción de costos de transporte y logística. Entre otras ventajas existe la posibilidad de fabricar lotes de producción muy cortos e incluso piezas únicas, como recambios, evitando la necesidad de mantener grandes stocks y permitiendo la fabricación in situ y just-in-time de los recambios.

Es importante considerar el impacto que tiene la fabricación aditiva tanto en los medios de producción como en la conceptualización de las nuevas partes y componentes. Lo que en el pasado se consideraba como imposible o muy difícil de fabricar con métodos convencionales, ahora se convierte en una opción factible y válida de diseño gracias a la fabricación aditiva. Esta tecnología ha resultado disruptiva al minimizar las restricciones de diseño, permitiendo por ejemplo, la implementación de procesos de optimización topológica que antes eran considerados como curiosidades científicas.

En campos de estructura, la fabricación aditiva supone un nuevo escenario en el diseño de estructuras a nivel de mesoescala con propiedades completamente nuevas, como la capacidad de adherirse fácilmente al tejido óseo en el campo de las prótesis. Además, la posibilidad de imprimir materiales blandos y la capacidad de incrustar sensores a ellos también representa una revolución, ya que permite la creación de componentes inteligentes con funcionalidades y rendimientos novedosos.

Realidad aumentada

La realidad aumentada (AR) se trata de una experiencia interactiva que enriquece el mundo real al superponer información perceptiva generada por computadora. Se utiliza software, aplicaciones y hardware como gafas de RA para agregar contenido digital a entornos y objetos del mundo real. Esto deriva en un factor enriquecedor en los procesos de fabricación e Industria 4.0. La RA dota a los usuarios industriales de la posibilidad de fusionarse con los sistemas y máquinas con las que trabajan, optimizando y potenciando la tecnología y las redes de IoT. A continuación se presenta un resumen del proceso de realidad aumentada:

- El dispositivo habilitado para AR, como gafas inteligentes, una tablet o un smartphone, analizan un input de vídeo para identificar un objeto físico o el entorno que rodea al usuario, como una pieza de maquinaria o el diseño de un almacén.
- Un gemelo digital, réplica digital 3D del objeto en la nube, realiza la conexión entre los entornos reales y virtuales, recopilando información del objeto físico y digital.
- El dispositivo de AR descarga información sobre el objeto desde la nube y superpone contenido digital utilizando marcadores o rastreadores como GPS, acelerómetros orientación y sensores barométricos, entre otros. De esta manera se crea una interfaz parcialmente real y digital en 3D.
- Gracias a los datos en tiempo real provenientes de los productos, el usuario es capaz de interactuar con el objeto o entorno mediante movimientos, comandos enviados a la nube a través de una pantalla táctil, por voz o con gestos.

En el sector industrial, la realidad aumentada se utiliza para una variedad de tareas, desde la identificación de activos fijos hasta la transferencia de conocimientos en el

campo de trabajo y la formación. A través de la combinación entre el mundo físico y el virtual se mejora la forma en la que trabajan las personas, ya que la AR brinda a los trabajadores más información y contexto sobre el producto o las máquinas con las que desempeña su actividad laboral y el entorno que las rodea.

La AR se utiliza comúnmente en las siguientes áreas:

- **Diseño y desarrollo de productos.** Permite a los diseñadores de productos la creación de prototipos virtuales que pueden ser explorados y analizados desde diferentes ángulos, brindando una experiencia inmersiva. Esto ayuda a probar y ajustar los productos antes de su fabricación física.
- **Mantenimiento, control operativo y seguridad.** Mediante el uso de AR, los trabajadores pueden acceder a información inmediatamente sobre cualquier máquina con la que interactúen. Con la posibilidad de consultar manuales de usuario actualizados o conectarse con expertos en cualquier parte del mundo para evaluar o reparar problemas, garantizando una producción ininterrumpida y un alto rendimiento.
- **Capacitación y formación de empleados y operarios.** La realidad aumentada permite a los empleados recibir capacitación sobre máquinas o equipos de forma “bajo demanda” convirtiendo su entorno de trabajo en una plataforma continua de aprendizaje. Además, proporciona entornos y escenarios en los que los trabajadores son capaces de perfeccionar sus habilidades, aumentando la productividad y la seguridad.
- **Control de calidad.** La integración de la realidad aumentada en el control y aseguramiento de calidad puede ser vital para prevenir defectos durante la producción, optimizar el proceso de fabricación y reducir los tiempos de llegada al mercado.

Robots autónomos

Los robots autónomos son dispositivos inteligentes capaces de adquirir autonomía mediante sensores y/o intercambio de datos con su entorno, lo cual les permite comprender y adaptarse a su entorno de forma independiente. Estos robots están provistos de un sistema sofisticado de sensores, inteligencia artificial y aprendizaje automático permitiéndoles aprender y mejorar su funcionamiento a través de la experiencia y la interacción con su entorno. Su comportamiento y acciones se adaptan de manera dinámica y autónoma en respuesta a las condiciones cambiantes de su entorno.

En la actualidad, los robots se conectan con otros robots y con otras máquinas sin interferencias, e incluso, trabajan colaborativamente con los humanos mejorando sustancialmente la productividad de todo el sistema.

Estos pilares de la Industria 4.0 se fundamentan a su vez, bajo los siguientes principios:

1. Generación y captura de datos

Un gemelo digital es una simulación o réplica virtual de un producto, máquina, sistema o producto del mundo real basado en datos recopilados por sensores de IoT. De esta manera, las empresas son capaces de analizar, comprender y mejorar el mantenimiento y rendimiento de los productos.

El primer pilar sobre el que se fundamenta la Industria 4.0 es la generación y captura de datos. Para llevar a cabo un análisis de datos y optimizar los procesos, se realiza un mapeo digital del entorno físico mediante sensores. En la actualidad, adquirir estas tecnologías no supone un problema gracias a la reducción de costos de los sensores y de la identificación por radiofrecuencia a través de transpondedores RFID. Además, actualmente se utiliza el protocolo de Internet IPv6, proporcionando conexiones de alta velocidad de punto a punto, incluyendo dispositivos móviles, lo cual permite que, en el ámbito industrial, todos los elementos de una fábrica o de una cadena de valor (máquinas, herramientas, personas, productos y clientes) tengan su propia dirección IP, derivando en un seguimiento más preciso de los activos y del capital de trabajo.

Por otro lado, es importante comentar que el coste del almacenamiento digital está disminuyendo de manera exponencial, facilitando que los enormes volúmenes de datos se almacenen en tecnologías descentralizadas como la nube. Esto permite una constante actualización del hardware, que provoca que los gastos en capital (CAPEX) se conviertan en gastos operativos (OPEX), sin la necesidad de invertir en nuevos activos. Además, existen filtros digitales que, combinados con la inteligencia distribuida a niveles de componente, pieza, producto, herramienta o máquina, solucionan la necesidad de procesarlos rápidamente. Cuando estos datos difieren de lo normal, se mandan a la nube para un análisis detallado. Gracias a algoritmos avanzados y tecnologías como el aprendizaje automático (machine learning), se pueden identificar patrones en estos grandes volúmenes de datos, lo cual tiene influencia tanto en tareas específicas como en el análisis a nivel empresarial o de la cadena de valor

Además, todos estos sistemas ciber físicos requieren de un gran número de personal especializado capaces de analizar e interpretar estas grandes bases de datos. Como resultado, están surgiendo nuevos perfiles profesionales relacionados con el Big Data y el análisis de datos.

2. Análisis de datos.

Dado que las fábricas se encuentran conectadas digitalmente (disponen de acceso a red, wifi, ordenadores, máquinas y robots con funcionalidades de conexión a redes, etc...) y, que actualmente existen sistemas de producción ciber-físicos capaces de optimizar, procesar y analizar la gran cantidad de datos que se recopilan, se mejora no solo los procesos operativos, sino también la toma de decisiones estratégicas por parte de la empresa. Esto significa que los avances en robótica, automatización y

fabricación aditiva proporcionan a las fábricas una gran flexibilidad para enfrentar cambios en la demanda, lo que se traduce en una mayor eficiencia de los procesos e incluso de los modelos de negocio.

Un ejemplo de esto sería una empresa que posea fábricas tanto en Europa como en Asia. Gracias al análisis de datos, sería posible comparar los patrones de demanda, lo que optimizará las previsiones y tendencias del mercado con antelación. Además, analizar simultáneamente estas fábricas podría conllevar el descubrimiento de un problema sistemático con una máquina, un proceso o un proveedor. De esta manera, la empresa podría reducir daños materiales o sistemáticos al realizar un mantenimiento preventivo.

3. Interacción Hombre-Máquina.

La integración de la gran cantidad de Tecnologías de la Información que disponemos requiere una minuciosa gestión de las mismas para optimizar lo que se requiere de cada una de ellas y cómo interaccionan unas con otras. Existe un amplio abanico de empresas que han desarrollado plataformas basadas en la nube a través de un enfoque industrial, como es el caso de MindSphere (Siemens) o Predix (General Electric). Sin embargo, en el ámbito de la interfaz entre personas y máquinas, es crucial presentar toda la información generada por los datos recopilados en la red de producción de manera integrada e intuitiva. Aquí es donde entran en juego dispositivos como gafas de Realidad Virtual, que permiten una visualización interactiva de los datos 3D y brindan a los trabajadores entre otras posibilidades la capacidad de realizar mantenimiento remoto desde cualquier lugar (realidad asistida).

Como ejemplo, supongamos que una máquina tiene un problema que un trabajador en la fábrica es incapaz de solucionar. Gracias a estas herramientas holográficas, se puede compartir una imagen 3D con la sede de la empresa, donde un profesional cualificado podrá dar las indicaciones pertinentes a proseguir para reparar la máquina. Además, a través de robots provistos con Inteligencia Artificial y de procesos de impresión 3D, se pueden crear granjas de impresión que trabajan de forma continua y simultánea para aumentar las tasas de producción de las piezas impresas y reducir los tiempos de inactividad de las impresoras. Esto permite fabricar piezas según la demanda sin necesidad de tener todas las máquinas en la propia fábrica.

Otra implementación de asistencia remota se proporciona desde las propias redes sociales, y es que existen empresas que las utilizan para que sus empleados puedan compartir sus problemas y recibir asistencia técnica de cualquier miembro de la comunidad. Empresas como Cisco, Audi y la NASA trabajan con este enfoque, aprovechando las ventajas de la colaboración en línea para resolver desafíos técnicos y obtener soluciones más rápidas y eficientes.

4. Producción Flexible.

La producción flexible es una característica clave de la Industria 4.0, impulsada por los avances en robótica, automatización y fabricación aditiva. Estos avances permiten a las fábricas adaptarse rápidamente a los cambios en la demanda y mejorar la eficiencia de los procesos y modelos de negocio.

Un ejemplo destacado de esta flexibilidad es el uso de brazos robóticos colaborativos, conocidos como cobots. A diferencia de los robots tradicionales, los cobots pueden trabajar en estrecha colaboración con los trabajadores sin la necesidad de una barrera de seguridad física. Estos cobots están equipados con sensores integrados que les permiten detectar y reaccionar ante la presencia de personas u objetos, lo que permite reducir el espacio de seguridad requerido. Son ampliamente utilizados en plantas de ensamblaje, como en la industria automotriz y pueden percibir factores como el centro de gravedad de un objeto o la flexión de un tubo. Además, los cobots pueden aprender de forma autónoma, lo que les permite mejorar su desempeño y compartir conocimientos con otros robots a partir de plataformas digitales como la nube.

En el sector de productos electrónicos, gracias a su reducido tamaño, se están incorporando en las fábricas para abordar desafíos como la rotación de los trabajadores o el incremento de la producción en base a la demanda. Estudios de mercado indican que, en el pasado, la fabricación de productos altamente exitosos requería de hasta un 50% más de trabajadores adicionales sin la utilización de esta maquinaria.

Otro ejemplo destacado son las máquinas de impresión 3D industrial, que tienen un gran potencial disruptivo. Estas máquinas permiten la fabricación de componentes altamente complejos sin la necesidad de utilizar moldes tradicionales. La impresión 3D ofrece una gran flexibilidad en el diseño y la producción de piezas, lo que facilita la personalización y la adaptación rápida a las necesidades cambiantes del mercado.

5. Propiedad Intelectual.

A medida que las empresas adoptan modelos de negocio basados en plataformas y se vuelven más dependientes de la interconexión de dispositivos y sistemas, es crucial garantizar la seguridad de los datos y proteger la propiedad intelectual.

Las empresas industriales líderes deberán mantener un alto nivel de ciberseguridad para hacer frente a los desafíos competitivos en el mercado. Esto implica identificar y abordar posibles vulnerabilidades que podrían exponer los datos de producción y los activos de la empresa. La protección de la propiedad intelectual abarca la salvaguardia de la información confidencial, los diseños, algoritmos, procesos y cualquier otro activo intangible que sea valioso y distintivo para la empresa.

Es esencial establecer medidas de seguridad sólidas para proteger la integridad y confidencialidad de los datos de producción y los datos comerciales. Esto implica implementar soluciones de seguridad cibernética, como firewalls, cifrado de datos, sistemas de detección de intrusiones y autenticación. También es importante establecer políticas y procedimientos internos que promuevan la cultura de seguridad en toda la organización.

Además, la conexión entre los dispositivos móviles utilizados en la interacción hombre-máquina y la infraestructura de Tecnologías de la Información de la empresa debe ser cuidadosamente gestionada. Esto implica establecer protocolos seguros de comunicación y asegurar que los dispositivos estén protegidos contra amenazas externas.

3.3 TECNOLOGÍAS QUE IMPULSAN LA INDUSTRIA 4.0

- Internet de las Cosas – IoT

Se trata de escenarios donde la conectividad a la red y la capacidad de cómputo se extiende a objetos, sensores y activos de uso diario que habitualmente no se consideran ordenadores. En otras palabras, existe una interacción entre el mundo físico y biológico con los sistemas cibernéticos, otorgándoles a los equipos la posibilidad de que generen, intercambien y utilicen los datos recopilados con una mínima intervención humana.

En la Figura 2 se puede observar el crecimiento significativo del número de dispositivos conectados a la red a lo largo de los años, según un estudio de la web IoT-Analytics. Cabe mencionar que este estudio no incluye teléfonos móviles inteligentes, tablets, ordenadores portátiles ni líneas telefónicas, sino que se refiere a los dispositivos de consumo y dispositivos B2B conectados que no son de IoT.

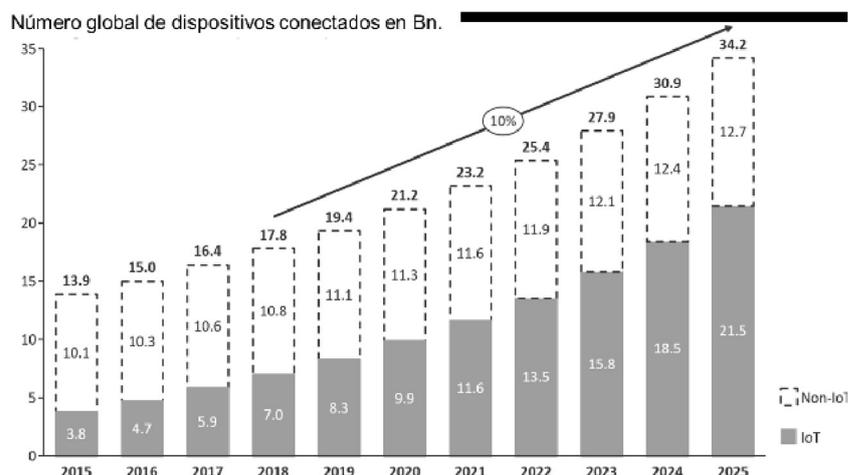


Figura 2. Crecimiento en el uso de dispositivos IoT. Fuente: IoT Analytics Research 2018.

La arquitectura de una solución IoT está compuesta por distintas capas, que siguen una jerarquía:

La *capa de percepción* es el nivel que se encarga de obtener las propiedades y magnitudes físicas de los objetos (temperatura, humedad, ubicación, etc.) a través de la información recopilada por sensores, la cual se transforma en señales digitales capaces de ser transmitidas por red.

La *capa de red* es el nivel responsable de transmitir estos datos recopilados hasta el centro de procesamiento a través de distintos canales de red como Wifi, Bluetooth, 4G, etc. Lo cual se traduce en una capacidad de comunicación entre los distintos tipos de redes.

La *capa de procesamiento* posee el objetivo de analizar, procesar y almacenar inmensas cantidades de datos por la capa de red. Sus aplicaciones tecnológicas abarcan un amplio abanico, incluyendo las bases de datos, cloud computing, ubiquitous computing y procesamiento inteligente masivo de datos.

La *capa de aplicación* es la encargada de generar las aplicaciones pertinentes según el análisis de estos datos, en función del caso o industria en particular.

La *capa de negocios* actúa como gestor de IoT, abarcando la gestión de las aplicaciones y del negocio, la seguridad de los usuarios y la investigación del mercado y del modelo de negocio.

La arquitectura del IoT abarca numerosas tecnologías, metodologías y campos de aplicación, entre otras muchas son destacables, el monitoreo de variables ambientales, la agricultura, redes de sensores distribuidas, cadenas de suministro y ciudades inteligentes.

● **Sistemas Ciberfísicos (CPS)**

Los CPS, son en sí mismos todas aquellas tecnologías que poseen una base sólida de matemáticas e informática con el fin de modelar, simular y diseñar sistemas integrados en tiempo real. En otras palabras, combinan los modelos y métodos de distintos campos de la ingeniería, con modelos y métodos propios de la informática.

Los CPS son sistemas integrados de computación, almacenamiento de datos, redes y medios de cualquier naturaleza que se encargan de monitorizar y controlar procesos físicos a través de circuitos de retroalimentación, donde los sucesos y las actuaciones de estos influyen sobre los cálculos y viceversa. Utilizan mecanismos, medios de procesos y software integrado en dispositivos cuya principal misión no es de computación, sino interactuar con el espacio en concordancia a los distintos escenarios de trabajo, las características de este y los posibles cambios.

Existen numerosos sistemas CPS en la actualidad, ejemplo de ellos son los automóviles autónomos, drones y pilotos automáticos aeronáuticos, dispositivos

médicos asistidos, sistemas de robótica y domótica, pero también aquellos que se integran en infraestructuras o fábricas inteligentes en distintas redes como pueden ser de agua, gas y electricidad, incluyendo los sistemas de control de procesos industriales. También se consideran CPS aquellos sistemas ciberfísicos orientados a la monitorización de las máquinas con la función de optimizar las estrategias operativas, de rendimiento y de mantenimiento.

Los sistemas ciberfísicos tienen la capacidad tanto de comunicarse con otros sistemas de sus funciones o de distintos propósitos, además de con los propios usuarios, con el fin de utilizar la información para facilitar un aprendizaje colectivo. Un ejemplo sería, una red de transporte de vehículos autónomos que se comunican entre sí, pero también, con la infraestructura viaria, los ocupantes y los centros de control para establecer una velocidad y ruta adecuada de cada uno de los automóviles.

De cara a producción industrial, existen algunas empresas europeas que utilizan actualmente CPS para reducir costos y mejorar la eficiencia de sus productos, a través de procesos como el moldeo por inyección de plástico o la soldadura industrial.

● **Ciberseguridad**

La Ciberseguridad es el conjunto de métodos, tecnologías y procesos, diseñados para gestionar el riesgo del ciberespacio atendiendo a su uso, procesamiento, almacenamiento y transmisión de la información utilizada en las organizaciones e infraestructuras industriales, a través de la perspectiva de personas, procesos y tecnologías.

La Industria 4.0 está dotada de ventajas gracias al avance disruptivo en tecnologías, pero también implica riesgos cibernéticos que la industria debe afrontar. Esto surge como consecuencia de que al incorporar una conectividad de los equipos operativos en la fábrica o en el campo de aplicación (Tecnologías de la Operación), se exponen nuevas rutas de entrada para ataques maliciosos y malware. Por ello es necesario dotar a la Industria 4.0 de una gran calidad de ciberseguridad tanto para los equipos de Tecnologías de la Información (TI), como para las Tecnologías de la Operación (TO).

Actualmente no existe un marco regulatorio mundial en lo que refiere a la ciberseguridad, pero algunas empresas como Cisco ofrecen una serie de recomendaciones a la hora de establecer un protocolo a seguir para garantizar una buena ciberseguridad, incluyen:

Defensa integrada. Las organizaciones actualmente requieren soluciones de seguridad integradas en lugar de soluciones puntuales, debido a la necesidad de incorporar seguridad en todos los aspectos y poder fortalecerla en cualquier momento. De esta manera, se busca establecer un enfoque integral

que garantice la protección de los activos de la organización en todos los puntos de acceso y en todos los entornos operativos.

Servicios profesionales. La creciente carencia de expertos en ciberseguridad y la fragmentación y competitividad en la industria, requiere que las organizaciones se apoyen en servicios profesionales efectivos, sean parte de la empresa o subcontratadas.

Proveedores contrastados. Es importante comentar que para que un proveedor tecnológico se pueda considerar como contrastado y fiable debe integrar la seguridad desde el principio, otorgando todas las soluciones frente a los riesgos que puedan existir desde el proceso de desarrollo y test, hasta la propia cadena de suministro y soporte.

La seguridad en la Industria 4.0 es una creciente demanda de empleo que dará lugar a la aparición de nuevos perfiles profesionales, que surgen para hacer frente a los desafíos y requerimientos de seguridad que plantea esta revolución industrial. Entre estos perfiles profesionales que están surgiendo podríamos destacar los siguientes:

Growth Hacker: Experto en marketing digital y estrategias de crecimiento, encargado de impulsar el crecimiento de las empresas utilizando técnicas innovadoras y soluciones tecnológicas.

Analista de Big Data: Profesional capaz de recopilar, analizar y extraer información valiosa a partir de grandes volúmenes de datos.

Ingeniero de Big Data: Especialista en el diseño, implementación y gestión de los sistemas de almacenamiento y procesamiento de grandes conjuntos de datos.

Ingeniero de IoT: Experto en el desarrollo e implementación de soluciones del IoT, responsable de garantizar la seguridad de los dispositivos conectados y la infraestructura asociada.

Diseñador de nubes: Especialista en el diseño y configuración de arquitecturas de nube seguras que garanticen la protección de los datos y la privacidad de los entornos de computación en la nube.

Ingenieros de robótica e IA: Profesionales especializados en el diseño, desarrollo y mantenimiento de dispositivos y sistemas inteligentes, focalizándose en la seguridad de la interconexión y el funcionamiento de estos dispositivos.

- **Cloud Computing – Edge Computing**

- **Cloud Computing**

La computación en la nube o Cloud Computing es un modelo para permitir el acceso ubicuo, conveniente y bajo demanda a un cómputo de recursos informáticos

configurables (redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones, entre otros.) que pueden almacenarse y descargarse rápidamente a través de los proveedores de servicios.

El Cloud Computing es la raíz de cualquier estrategia de Industria 4.0, ya que todo gira en torno a este modelo. La realización al completo de una fabricación inteligente exige que exista una conectividad e integración de ingeniería, una cadena de suministro, producción de ventas, y una distribución y servicio. Todo esto es posible gracias a la nube, así como, en el aspecto relativo al almacenamiento de la gran cantidad de datos recopilados para su posterior análisis, haciendo que sea más fácil de procesar, lo que deriva en una mayor eficiencia y rentabilidad. Por otro lado, también sirve para reducir los costos iniciales a los que se tienen que enfrentar las pequeñas y medianas empresas, ya que les permite ajustar sus necesidades y escalar a medida que va creciendo su negocio.

La creación de nubes viene regulada por el estándar ISO/IEC 17788:2014, proporcionando las definición de términos comunes de computación en la nube, la terminología a utilizar como nube pública y privada, y la representación de diagramas y descripciones de cómo los diferentes aspectos de la computación en la nube se relacionan entre sí.

- **Edge Computing**

La computación en la frontera o Edge Computing difiere de la infraestructura cloud tradicional, al ofrecer un enfoque distinto basado en un concepto de nube descentralizado, donde el almacenamiento y procesamiento de los datos se realiza más cerca de los dispositivos IoT, es decir, como su propio nombre indica, en el borde de la red.

El Edge Computing está diseñado para aplicaciones del Internet de las Cosas en tiempo real, y se distingue del Cloud Computing fundamentalmente por tres características, minimiza la latencia, mejora la fiabilidad de la red y brinda una mayor seguridad ya que los datos no están expuestos, porque se encuentran en el origen de las tecnologías IoT y no en una nube vulnerable ante ciberataques.

Se puede afirmar que ambas arquitecturas tecnológicas son complementarias para el desarrollo de aplicaciones IoT, sin embargo, para ciertas aplicaciones, es preferible que el almacenamiento y procesamiento de los datos se realice a través de Edge Computing y no Cloud Computing. En la Figura 3 se puede observar un esquema global que enfrenta ambas arquitecturas y puede ayudar a la comprensión de ambos conceptos.

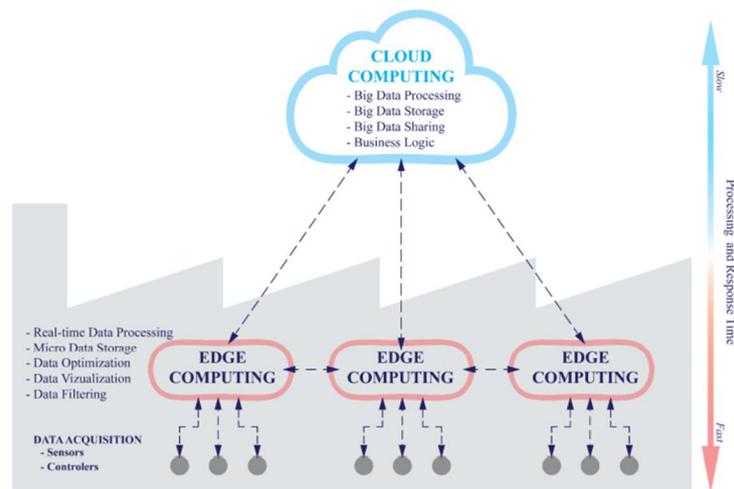


Figura 3. Esquema Cloud Computing y Edge Computing. Fuente: IoT Analytics Research 2018.

● Inteligencia Artificial - IA

La Inteligencia Artificial (IA) se fundamenta en tecnologías avanzadas que se apoyan en diversos campos científicos. Su principal finalidad es permitir que los sistemas informáticos y otros dispositivos tecnológicos realicen las tareas que anteriormente requerían la intervención de inteligencia humana, como las habilidades del aprendizaje, el razonamiento, la resolución de problemas, la percepción visual, el reconocimiento de voz, la toma de decisiones y la traducción de idiomas. En definitiva, la IA busca la capacidad de los sistemas para imitar el comportamiento inteligente humano.

Los distintos tipos de IA se pueden englobar en los distintos campos:

Inteligencia General (IG). En ella las máquinas son capaces de razonar y planificar, de manera similar a los seres humanos. Sin embargo, es importante destacar que la IG no abarca todos los aspectos de la inteligencia, ya que las máquinas no poseerán una mente o conciencia similar a la humana. Para alcanzar este nivel de inteligencia, se ha planteado la idea de realizar una ingeniería inversa del cerebro humano, y se espera que de esta forma se logre que una máquina alcance alrededor del 90% de la inteligencia comparable a la de un ser humano.

Super Inteligencia Artificial (SIA). Englobaría a la IA que haya logrado afrontar el problema anterior, de modo que aún no es de aplicación.

Inteligencia Artificial Débil (IAD) o aplicada. Se trata de la IA capaz de afrontar tareas específicas, enfocadas a ayudar al ser humano, sin emular al completo las habilidades cognitivas del ser humano. Es este tipo de IA el que actualmente se está desarrollando en los ámbitos académicos y empresarial.

Actualmente la IA ha sido usada en un amplio número de campos como la robótica, la comprensión y la traducción de lenguajes. En la Tabla 1 se pueden observar algunas de las áreas de oportunidades para las IA y la Ciencia de Datos.

Asistentes personales.	Automóviles autónomos.	Banca y finanzas.
Edificios inteligentes.	Chatbots.	Ciberseguridad.
Comercio electrónico (e-commerce).	Cuidado de la salud.	Diseño de ropa, estilos de zapatos, etcétera.
Electrodomésticos.	Entretenimiento.	Logística y cadenas de suministro.
Manufactura optimizada.	Servicio al cliente en línea.	Sistemas de recomendación.
Telefonía celular.	Turismo.	

Tabla 1. Áreas de oportunidades para la Inteligencia Artificial.

○ **Machine Learning**

El Machine Learning (ML) utiliza los datos recopilados para que, a través de algoritmos de predicción y clasificación, estas tecnologías de IA sean capaces de generar conocimiento de los datos recopilados.

En las industrias de fabricación, esta tecnología permite aprovechar al máximo el volumen de la información generada no solo en las plantas, sino en todas sus unidades comerciales, inclusive de socios y fuentes de terceros. Gracias a ella, se pueden, además, crear tendencias de mercado que doten a la empresa de visibilidad, previsibilidad y automatización de operaciones y procesos comerciales. Por ejemplo, para afrontar la posible avería de una máquina y gracias al uso de los datos recopilados, pueden ayudar a las empresas a realizar un mantenimiento predictivo basado en los anteriormente nombrados algoritmos, lo que deriva en un mayor tiempo de actividad de la maquinaria y, por consiguiente, una mayor eficiencia.

○ **Deep Learning**

El aprendizaje profundo, también conocido como Deep Learning, se trata de un subcampo del aprendizaje automático que utiliza redes neuronales artificiales. Se caracteriza por tener múltiples capas en su estructura, y se dice que su grado de profundidad y mayor o menor en función del número de capas que tenga el modelo. Cada capa recibe como entrada la salida de la capa anterior, utilizando algoritmos de aprendizaje supervisado o no supervisado.

En el Deep Learning, cuando se analizan patrones, se emplea el aprendizaje no supervisado. Esto significa que el modelo busca identificar patrones y estructuras en los datos sin disponer de etiquetas o categorías previstas. Por otro lado, en problemas de clasificación, se utiliza el aprendizaje supervisado, donde se entrena con ejemplos previamente etiquetados para aprender a asignar nuevas muestras a las categorías correctas.

El aprendizaje profundo o Deep Learning, se trata de un subconjunto del aprendizaje automático, haciendo uso de redes neuronales artificiales, y se dice que es profundo en función del número de capas que tenga el modelo. Cada capa utiliza como entrada, el resultado o la salida de la capa anterior, utilizando algoritmos de tipo supervisado y no supervisado. En el caso de analizar patrones el aprendizaje es no supervisado, y en el caso de problemas de clasificación es supervisado. En la Figura 4 se puede observar la comparación de una red neuronal tradicional y una red profunda, destacando la diferencia del número de capas.

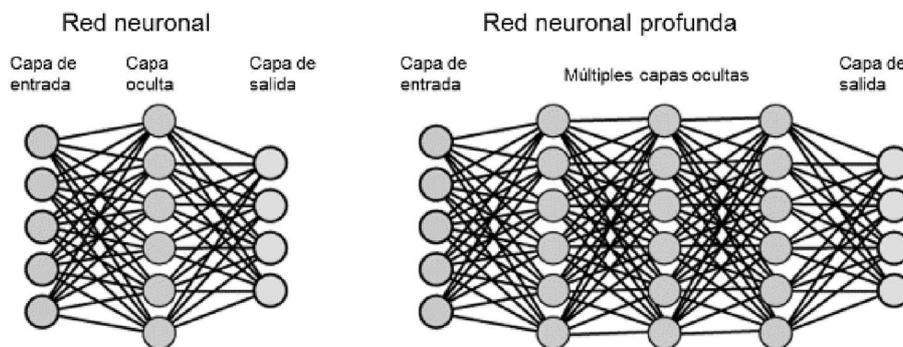


Figura 4. Comparativa de una Red neuronal tradicional con una basada en Deep Learning. Fuente: Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. Revista UIS Ingenierías, 19(2), 177-191.

- **Big Data.**

Big Data es un término que se refiere al extenso conjunto de datos de información generado por nuestros ordenadores, dispositivos móviles y sensores de máquinas. Las organizaciones utilizan estos datos para tomar decisiones, mejorar procesos, crear productos y servicios y ofrecer experiencias centradas en el cliente. Big Data se caracteriza no solo por su volumen, sino además por su variedad y complejidad. Constantemente se supera la capacidad de las bases de datos tradicionales para capturar, gestionar y procesar datos. Además, puede provenir de cualquier fuente digitalmente monitoreable, como satélites meteorológicos, dispositivos de IoT, cámaras de tránsito y tendencias en las redes sociales.

El Big Data se describe en cinco dimensiones que lo caracterizan, conocidas como las 5V:

- Volumen. Gran cantidad de información.

- Variabilidad. El significado de los datos varía constantemente. Por ello, las organizaciones desarrollan algoritmos sofisticados que interpretan el contexto y decodifican el significado preciso de estos.
- Veracidad. Las organizaciones se aseguran de que los datos recopilados son válidos.
- Velocidad. A la hora de generar y almacenar los datos.
- Variedad. Los datos deben provenir de múltiples fuentes, dispositivos, herramientas y plataformas, y pueden ser estructurados o no.

El verdadero valor del Big Data radica en la capacidad de analizar y comprender los datos. La inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático y las tecnologías modernas de bases de datos facilitan la visualización y el análisis del Big Data en tiempo real, brindando información estratégica accionable. El análisis del Big Data ayuda a las empresas a aprovechar al máximo sus datos, descubrir nuevas oportunidades en base a tendencias del mercado y construir modelos de negocio.

Existen tres tipos principales de Big Data:

- Datos estructurados: son los más sencillos de organizar y buscar. Incluyen datos financieros, registros de máquinas y detalles demográficos. Los datos estructurados se pueden visualizar fácilmente en hojas de cálculo como Excel. Tradicionalmente, los datos estructurados se gestionan mediante lenguajes de consulta estructurados (SQL) en bases de datos relacionales.
- Datos no estructurados: Este tipo de datos incluye publicaciones en redes sociales, archivos de audio, imágenes y comentarios abiertos de clientes. No se pueden capturar fácilmente en bases de datos tradicionales. Para poder gestionar y analizar grandes volúmenes de datos no estructurados, se utilizan almacenes de datos, bases de datos NoSQL y data lakes. El análisis de datos no estructurados ha sido un mayor reto debido a su complejidad y el costo acarreado a estos procesos.
- Datos semiestructurados: Se denomina de esta forma al híbrido entre los datos estructurados y los no estructurados. Ejemplos de ello son los correos electrónicos, que contienen datos estructurados en el cuerpo del mensaje, junto con propiedades organizativas como emisor, destinatario, asunto y fecha. Los datos semiestructurados pueden almacenarse y analizarse de forma eficaz mediante bases de datos modernas que emplean el uso de tecnologías de IA, capaces de identificar y procesar diferentes tipos de datos en tiempo real.

Las principales fuentes de recopilación de datos para Big Data provienen de diversos campos, tales como:

- Datos de redes sociales: generados a través de comentarios, publicaciones, imágenes y vídeos de plataformas de redes sociales. El uso generalizado de

celulares 4G y 5G ha contraído un aumento considerable en la generación de datos en las redes sociales.

- Datos de máquinas: generados por dispositivos y máquinas de IoT, equipados mediante sensores. Los sensores de IoT permiten a las empresas recopilar y procesar datos de dispositivos, vehículos y equipos en toda la empresa.
- Datos transaccionales: se refieren a los datos generados por transacciones, como las realizadas en tiendas de minoristas, transacciones bancarias y compras en línea. Estos datos poseen un movimiento y crecimiento veloz, especialmente en grandes empresas con altos volúmenes de transacciones. Además, los datos transaccionales están en una línea de evolución hacia datos semiestructurados, ya que incluyen imágenes, comentarios y otros elementos complejos de gestionar y procesar.

Los principales beneficios del Big Data aplicados a las industrias de manufacturación se pueden listar como los siguientes:

- Almacenar los datos de calidad relacionados con la fabricación.
- Información acerca del inventario existente y el del proveedor.
- Reducir los costes.
- Mejorar la satisfacción y el compromiso con el cliente.
- Registrar todas las operaciones realizadas durante la fabricación.
- Evaluar los riesgos.
- Correcto control del sistema de fabricación.
- Aumentar la eficiencia.
- Detectar errores en los distintos procesos.
- Almacenar totalmente la información de los clientes incluyendo el feedback.
- Prever oportunidades de crecimiento de la empresa.
- Ayudar a monitorear todo el sistema de fabricación.

En la Figura 5 podemos ver una representación para el proceso del flujo de trabajo de la Industria 4.0. basado en Big Data.



Figura 5. Flujo de trabajo basado en procesamiento de datos mediante Big Data. Fuente: Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2021). Significant applications of big data in Industry 4.0. Journal of Industrial Integration and Management, 6(04), 429-44

Por último, podríamos nombrar las tecnologías de la Realidad Virtual, Realidad Aumentada (RV y RA), Realidad Mixta (XR) y Gemelo digital. Como son cruciales en la elaboración del presente trabajo de fin de grado, su funcionamiento será explicado con mayor detenimiento en capítulos posteriores.

3.4 IMPLICACIONES FUTURAS

Desde que surgió la idea de la Industria 4.0, han surgido grandes preocupaciones en torno a la incorporación de estas nuevas tecnologías en el mundo laboral, generando nuevos desafíos sobre los sectores productivos, donde se estima que se genere un desplazamiento significativo de trabajadores y que afecte a tareas y puestos de trabajo concretos.

Además, el establecimiento de tecnologías de la industria 4.0 derivará en mejores resultados económicos siempre y cuando se implemente una correcta infraestructura y un financiamiento adecuado, de lo cual se carece en muchos países, fundamentalmente los subdesarrollados. Por ello, existe la necesidad de establecer políticas que permitan solventar con rapidez y facilidad este tipo de restricciones y barreras, para que estos países obtengan un mejor posicionamiento en el sector.

La inserción de la Industria 4.0 a nivel mundial ha generado cambios de gran magnitud tanto en el ámbito industrial como en el laboral. En el industrial, porque implica que las empresas mejoren sus infraestructuras tecnológicas, lo cual deriva en una significativa inversión de capital, así como la generación de procesos de capacitación y especialización en diversas áreas como pueden ser la informática, la robótica o la IA entre otras. En el ámbito laboral, esta nueva revolución industrial generará nuevas fuentes de empleo en estos sectores en auge, lo que se traduce en una necesidad de profesionales que posean competencias específicas y mayor dominio de las nuevas tecnologías. Por tanto, podría elevar el desempleo de

trabajadores que no cuenten con amplios conocimientos tecnológicos, como pueden ser la mano de obra no tecnificada, la cual será reemplazada por equipos y maquinarias. En la Tabla 2 se presenta una tabla llevada a cabo por un estudio en Uruguay, donde podemos ver el riesgo de automatización dependiendo del sector laboral.

Categoría ocupacional	Riesgo de Automatización	Porcentaje del empleo
Personal de apoyo administrativo	94%	12%
Agricultores y trabajadores calificados agropecuarios, forestales y pesqueros	88%	5%
Operadores de instalaciones y máquinas	83%	7%
Ocupaciones elementales	75%	19%
Oficiales y operarios mecánicos y de otros oficios	72%	14%
Trabajadores de los servicios y vendedores de comercios	64%	22%
Técnicos y profesionales de nivel medio	44%	7%
Profesionales científicos e intelectuales	12%	11%

Nota: Adaptado por el autor de la obra "Automatización y empleo en Uruguay – una mirada en perspectiva y en prospectiva", Isabela et al (2017)

Tabla 2. Riesgo de automatización de sectores en Uruguay.

Es por ello por lo que será necesario reeducar a estos operarios no cualificados en conceptos tecnológicos para que sigan siendo eficientes y no se vean afectados por estos cambios disruptivos. Lo cual es de aplicación, tanto para los propios trabajadores como para los nuevos jóvenes profesionales que surjan a través de las instituciones educativas, con el fin de ser competentes a lo largo de toda su vida laboral, será necesario un continuo aprendizaje debido al gran ritmo de evolución de todas estas tecnologías. Basta con mirar a los antecedentes históricos para saber que este incremento tecnológico es exponencial.

Según un estudio llevado a cabo por Bermúdez, G.M., Villalobos, M.P.K y Castañeda (2021) en la Universidad Nacional Autónoma de México, los sindicatos tendrán que reinventarse para atender los grandes cambios laborales que se vienen encima. Por un lado, la falta de influencia en la determinación de los derechos y de las prestaciones de los trabajadores en el nuevo escenario tecnológico, debido a que estos conceptos y premisas nacieron y se establecieron durante el siglo XX; y por otro lado, en la creación de necesidades y exigencias específicas para las nuevas generaciones tecnológicas especializadas que surjan para completar los perfiles

En torno al impacto que tiene la industria 4.0 en la estructura productiva de la economía de una empresa, se puede afirmar que la evolución, el constante crecimiento de Internet y de las tecnologías digitales ha generado un cambio significativo en los modelos tradicionales de trabajo y de negociación. Es por ello por lo que actualmente existen negocios electrónicos, considerados como el empleo de la tecnología digital, en las empresas para la introducción de funciones productivas y administrativas, orientadas a la compra a través de venta de bienes y servicios, así como el intercambio de información a través de canales vía online.

4 REALIDAD VIRTUAL

La Realidad Virtual (RV), se puede definir como “la suma de los sistemas de hardware y software que tratan de perfeccionar la ilusión sensorial omnipresente en otro entorno” (Biocca & Delaney, 1995). La inmersión, la presencia y la interactividad se consideran las características principales de las tecnologías de RV (Ryan, 2020; Walsh & Pawlowski, 2002). El concepto de interactividad se refiere al grado en que un usuario puede modificar en tiempo real el entorno de RV (Steuer, 1992). Por otro lado, la presencia se define como “la experiencia subjetiva de estar en un lugar o entorno, incluso cuando uno se encuentra físicamente en otro lugar” (Witmer & Singer, 1998). Aunque los investigadores concuerdan en gran medida en las definiciones de interactividad y presencia, existen diferentes perspectivas respecto al concepto de inmersión. Algunos investigadores sugieren que la inmersión debe considerarse como un atributo tecnológico que puede evaluarse objetivamente (Slater & Wilbur, 1997), mientras que otros la describen como una creencia subjetiva e individual, es decir, un fenómeno psicológico (Witmer & Singer, 1998). Desde este punto de vista psicológico, se considera que la inmersión es un estado en el que el usuario percibe un aislamiento de los sentidos con respecto al mundo real (Witmer & Singer, 1998), donde el grado de inmersión percibido difiere de una persona a otra y los atributos tecnológicos apenas influyen en él (Mütterlein, 2018).

Por otro lado, según el punto de vista tecnológico, el término inmersión significa el “grado en que las pantallas de ordenador son capaces de ofrecer una ilusión de realidad inclusiva, extensa, envolvente y vívida” (Slater & Wilbur, 1997). Más concretamente, esto incluye el grado de exclusión de la realidad física, la gama de modalidades sensoriales, la amplitud del entorno circundante, así como la resolución y la precisión de la pantalla (Slater & Wilbur, 1997). Los atributos tecnológicos de una tecnología de RV -como la velocidad de fotogramas o la resolución de la pantalla- determinan, a su vez, el grado de inmersión que experimenta el usuario (Bowman & McHahan, 2007).

4.1 REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA (RVI)

Los inicios de la RV se desarrollaron en distintos campos de la informática durante las décadas de 1950 y 1960, especialmente en el campo de los gráficos informáticos interactivos en 3D y la simulación de navegación en vehículos y vuelos (Lowood, 2022). El término “Virtual Reality” fue acuñado en 1992 por Jaron Lanier (Lanier, 1992) y en términos generales, significa entorno artificial tridimensional visual o sensorial, modelado y simulado por ordenador, con la ayuda de dispositivos interactivos que envían y reciben información, y con el que una persona puede interactuar (Lowood, 2022).

Se debe diferenciar la realidad virtual inmersiva (RVI) y la no inmersiva:

La realidad virtual inmersiva consiste en una recreación virtual proyectada sobre una pantalla, con la que podemos interactuar mediante un teclado, un ratón o mandos especiales. En este caso los usuarios tienen que llevar una pantalla montada en la cabeza u otros dispositivos y están completamente rodeados por el entorno virtual y donde las respuestas del usuario pueden observarse y registrarse en una situación controlada. La realidad virtual no inmersiva es aquella, donde el contenido se muestra a través de una pantalla de ordenador, televisor y teléfono móvil y no requiere de ningún equipo adicional como entornos virtuales basados en la web y videojuegos (Jensen & Konradsen, 2018; Suh & Prophet, 2018).

La realidad virtual inmersiva es la más utilizada en todos los campos. A través de cascos y visores sumerge al individuo en una recreación virtual. Los visores utilizados reciben el nombre técnico de HMD (Head Mounted Display) y se definen como aquellos dispositivos que se usan en la cabeza o como parte de un casco. Estos visores están dotados de pantallas individuales para cada ojo que producen imágenes que cubren una visión de 360° en todos los ángulos. Los visores se ajustan a la cabeza cubriendo toda la visión permitiendo que solo se pueda ver lo que ocurre dentro de las pantallas e impidiendo que la visión ocupe el exterior o la entrada de luz. Por ello se consideran inmersivos.

Los HMD no actúan únicamente sobre el sentido de la visión, para lograr una experiencia más envolvente están dotados de sistemas de sonido, como de dispositivos periféricos que podemos manejar con nuestras manos. Estos últimos reciben el nombre de dispositivos hápticos ya que simulan una respuesta táctil permitiendo interactuar y manipular objetos y máquinas tridimensionales que formen parte de la recreación virtual.

Además, los dispositivos HMD de RV cuentan con sensores de movimiento que permiten avisar al usuario si se acerca a un obstáculo o a unos límites previamente establecidos, con el fin de evitar accidentes y colisiones con objetos físicos del mundo real. En ciertos casos de aplicación, se utilizan plataformas estáticas sobre las que el usuario puede caminar y simular el movimiento sin tener en cuenta estos riesgos. Los dispositivos HMD más demandados del mercado son las HTC Vive y las Oculus Rift, aunque muchas empresas están desarrollando nuevos modelos para lanzar a este mercado tecnológico y competitivo. Un alto competidor es el HMD denominado Reverb de HP.

En lo que respecta al término inmersión anteriormente nombrado, Jensen & Konradsen (2018) proponen una perspectiva adicional sobre los efectos positivos de la inmersión y la presencia en los resultados del aprendizaje. Los resultados de los estudios revisados en su investigación demuestran que los alumnos que utilizaron dispositivos HMD estaban más comprometidos, pasaban más tiempo en las tareas de aprendizaje y adquirían mejores habilidades cognitivas, psicomotoras y afectivas. Sin embargo, este estudio también identifica muchos factores que pueden ser reforzadores o barreras para la inmersión y la presencia. Por ejemplo, tanto la

calidad gráfica de la RV como la conciencia al utilizarla pueden reducir la sensación de presencia. Los rasgos de la personalidad individual también pueden estar asociados a una adquisición limitada de habilidades por el uso de las tecnologías de RV.

No obstante, los HMD han demostrado ser una herramienta de vital importancia para afrontar la necesidad de formar y capacitar a los operarios de una planta industrial. Mediante su uso, estos trabajadores adquieren las destrezas necesarias para el uso de distintas máquinas, evitándoles el riesgo de accidente durante el aprendizaje y abaratando los costes que le pudieran generar a la empresa. El operario no utilizará la máquina en cuestión de la que dependa su oficio hasta que no se desenvuelva totalmente con ella a través de este aprendizaje virtual. De esta especie de entrenamientos surge el término de *células de fabricación virtuales*, en las que se recrea de manera virtual e interactiva las mismas máquinas, robots y el entorno al que el operario se enfrentará en su vida laboral cotidiana. El hecho de que se lleven a cabo a través de una simulación interactiva implica, que estas lecciones no tienen que provenir directamente de un experto que dedique su tiempo a formar a estos operarios, lo que se traduce en una mayor eficiencia de la empresa y por ende en los anteriormente nombrados ahorros de costes. Por otro lado, el uso de HMD en fábricas industriales se utiliza también para llevar a cabo prácticas de protocolos de seguridad, simulando situaciones de emergencia de las fábricas o de los propios puestos de trabajo.

La RVI permite, gracias a la recreación 3D de un objeto, producto o edificio, que los clientes se puedan hacer una idea del resultado final del mismo sin la necesidad de desplazarse físicamente al lugar en cuestión. Según diversos estudios se estima que en un futuro al menos 100 millones de consumidores realizarán sus compras a través de RVI y RA, tanto en tiendas físicas como vía online ya que estas tecnologías permiten al cliente experimentar y visualizar los productos de diversa índole y sectores en diferentes, como pueden ser automóviles o muebles.

El caso de aplicación del trabajo desarrollado en este TFG y que se expone en próximos capítulos se ha llevado a cabo para ser utilizado a través del uso de tecnologías HMD, y software específico (motores gráficos), para la creación del entorno virtual interactivo en cuestión.

Según la definición de Schroeder (Hillis, 1997), las dos características más importantes de la realidad virtual son la *inmersión* y la *interacción*; la inmersión se entiende como la percepción de estar físicamente presente en un entorno no físico que se crea con imágenes, sonidos u otros estímulos que proporcionan un ambiente totalmente absorbente. Por otro lado, la interacción se entiende como la acción natural que se produce entre el usuario y el entorno virtual. Estas características sitúan a la RVI como altamente beneficiosa en comparación a la Realidad Virtual No Inmersiva. En la Figura 6 se pueden observar a modo de resumen, las diferencias entre la realidad virtual inmersiva y la no inmersiva.

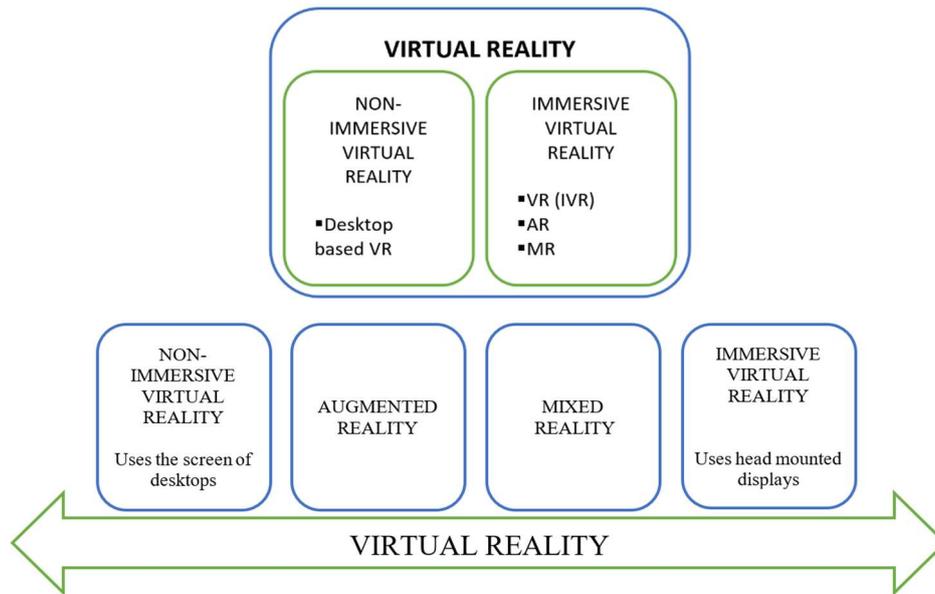


Figura 6. Realidad virtual inmersiva y no inmersiva. Fuente: Gómez-Tone et al., (2022).

5 REALIDAD AUMENTADA

La Realidad Aumentada (RA) se define como las diferentes capas de información virtual que se superponen sobre una imagen del mundo físico en tiempo real. Existen distintos tipos de RA en función de la tecnología que se emplee para dotar al usuario de esta información, así como distintos tipos según el grado de inmersión.

Según la tecnología empleada:

Realidad aumentada por geolocalización. La información sobre un objeto o entorno se muestra en pantallas gracias a que el visor HMD, Tablet o smartphone posee herramientas de geolocalización como GPS, giroscopios, acelerómetros o brújulas digitales. El uso de estas herramientas permite identificar en qué punto específico del espacio se encuentra la imagen que estamos viendo y, por consiguiente, dónde se encuentra el usuario de las tecnologías que hacen uso de estas herramientas. Frecuentemente, los parámetros obtenidos se recopilan, procesan y envían a través de redes de conectividad (Wifi, LTE, etc.) para que la pantalla de los visores nos permita ver la misma información de lo que se ve en el mundo físico.

Realidad aumentada por marcadores. Se define a los marcadores como aquellos símbolos o imágenes que se superponen a la información. Para poder superponer esta información es necesario que el dispositivo utilizado posea una cámara y un software que reconozca el marcador y envíe la información.

Según el grado de inmersión:

Realidad aumentada inmersiva (RAI). Al igual que en el caso de la Realidad Virtual Inmersiva, se utilizan dispositivos HMD que permiten una experiencia más inmersiva. Sin embargo, la diferencia recae en que estos dispositivos no nos mostrarán un entorno virtual previamente creado, sino que gracias a la utilización de cámaras nos muestran una imagen real de lo que se ve, en la cual podremos superponer la información que más nos convenga. En el caso del HMD HoloLens, se proyecta sobre la pantalla transparente frente a los ojos las imágenes virtuales.

Realidad aumentada no inmersiva (RANI). En este caso la tecnología utilizada para representar la información no son HMD, sino que se emplea a través de tablets o smartphones los cuales utilizan las propias cámaras que tienen incorporadas, así como softwares de ubicación por geolocalización, o en algunos casos, softwares especiales que interpreten los marcadores.

5.1 DIGITAL TWIN, REALIDAD MIXTA (MR) y REALIDAD EXTENDIDA (XR)

Una vez explicados los términos de Realidad Virtual y Realidad Aumentada, es importante hablar de otros dos conceptos de importancia en el entorno de estas innovadoras tecnologías, como son la Realidad Mixta y el Gemelo Digital.

La **realidad mixta (Mixed Reality)** hace referencia a la combinación entre la realidad virtual y la realidad aumentada. A través de esta tecnología y con el uso de dispositivos HMD, es posible visualizar un entorno simulado como el de la realidad virtual e interactuar con los distintos objetos y máquinas a través de dispositivos hápticos. La principal diferencia con la RVI recae en que estas máquinas pueden existir en la realidad y estar ubicadas en las fábricas a gran distancia. La realidad mixta está intrínsecamente asociada con el concepto de Digital Twin o gemelo digital.

El concepto **Digital Twin o gemelo digital**, hace referencia a la réplica digital de activos físicos, sean estos espacios, sistemas o dispositivos. Basándose en las características técnicas y datos de funcionamiento del activo del mundo real, se crea una copia digital de este que contiene toda esta información. Para la creación de este gemelo digital se emplean varias tecnologías como sensores y dispositivos IoT que recopilan todas las características del objeto en cuestión. La IA es la encargada de analizar todos los datos almacenados, la RV tiene la función de recrear en un espacio simulado la escena real, y el propósito de la RA es el de superponer la información que queremos estudiar en tiempo real en este entorno simulado.

Es importante comentar que la implicación de la IA y el factor humano, son de vital importancia para analizar la información o la creación de mejoras en el sistema del gemelo digital. La captura y representación del entorno físico a través de sensores y tecnologías IoT no son autosuficientes para su modelado.

Según un estudio de “Market&Markets” se calcula que entre el 2025 y el 2030 estará generalizado el uso de gemelos digitales en la industria a nivel global. De hecho, existen gemelos digitales actualmente de libre acceso como es el caso del creado a partir de la ciudad de Singapur. Se trata de un proyecto de visualización 3D de la ciudad, el cual permite a profesionales del sector público y privado desarrollar aplicaciones y realizar pruebas de concepto y servicio sobre la copia virtual de la ciudad, con el fin de resolver desafíos y tomar decisiones de planificación. La información recopilada y representada por este gemelo digital varía desde las características estructurales de las infraestructuras que componen la ciudad, los atributos del suelo como láminas de agua o vegetación, o las características de los medios de transporte, los cuales son capaces de ser simulados en tiempo real. Este es un claro ejemplo de lo que se conoce como ciudad inteligente.

Gracias a la creación de este gemelo digital, ya se han planteado distintos proyectos para la mejora de la ciudad. Entre ellas son destacables la creación de prototipos de pasarelas peatonales para ver cuál es más óptima sin afectar a ninguna infraestructura o a los propios flujos de personas; la incorporación de paneles solares, luces LED y recogidas de residuos con el fin de crear un barrio sostenible; análisis de los edificios y su potencial para la producción de energía solar según datos de la superficie de las cubiertas, orientación de las mismas, condiciones climatológicas y tiempo de exposición a la energía solar; información a los ciudadanos para el análisis de negocios a través de una buena planificación y administración de los recursos y servicios circundantes; y en general, la posibilidad de llevar a cabo estudios que detecten nuevas necesidades que puedan surgir y que sean cubiertas por servicios ya existentes o que se deban crear.

La escalabilidad de proyectos de esta índole es mundial, pudiéndose aplicar a cualquier ciudad que haga uso de estas tecnologías, para optimizar los cambios que surjan en la misma. En la Figura 7 adjunta a continuación podemos ver el gemelo digital en cuestión de la ciudad de Singapur:



Figura 7. Digital Twin de la ciudad de Singapur. Fuente: <https://www.geospatialworld.net/prime/case-study/national-mapping/virtual-singapore-building-a-3d-empowered-smart-nation/>

La **Realidad Extendida** (XR, Extended Reality), no es otro tipo de realidad, simplemente hace referencia a la combinación de todas las tecnologías de simulación virtual inmersivas nombradas anteriormente, englobando en un mismo término la RV, RA y RM; pero también se incluyen las interacciones entre humano y máquina, así como las tecnologías capaces de recopilar datos y analizarlos como sensores y cámaras 360°, las herramientas de recreación en 3D, la Inteligencia Artificial y todo aquello que surja de sus avances e innovaciones.

Se utiliza como un concepto global que permite erradicar las confusiones que puedan existir entre todos los tipos de realidades nombrados anteriormente, con la

finalidad, además, en vista a la creciente proliferación de todas estas tecnologías, a que finalmente acaben convergiendo en una sola y nos refiramos a ello con un único término.

6 CASOS DE APLICACIÓN DE RV, RA Y XR

6.1 CASOS DE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA

En base a los artículos científicos consultados se ha podido observar que los campos en el ámbito industrial en los que existen una mayor aplicación de las tecnologías de XR son la industria nuclear, el mantenimiento y montaje industrial, el transporte, las instalaciones eléctricas, la industria aeroespacial, la industria militar, la industria petrolera y la de climatización.

La **industria nuclear** es el mayor campo de aplicación de RV, representando aproximadamente el 30% de las publicaciones científicas, y más concretamente, las aplicadas a la formación y la seguridad. La industria nuclear suele incluir sistemas complejos como el componente de fusión Tokamak (reactor termonuclear por confinamiento magnético), que posee unos requisitos de seguridad extremadamente severos. Cualquier descuido durante el diseño inicial o el mantenimiento posterior provocaría una catástrofe. El estudio de Meunier et al., (2018) señala los diversos retos a los que se enfrenta el entorno de RV en el proyecto que desarrollaron del entrenamiento en operaciones de manipulación y mantenimiento de un reactor termonuclear Tokamak: (1) crear un entorno virtual intangible, clon del real (digital twin); (2) el espacio reducido para introducir nuevos componentes y llevar a cabo las operaciones de montaje y mantenimiento; (3) la escasa tolerancia a los fallos y la necesidad de una precisión extrema; y (4) el calendario y las limitaciones de costes muy ajustados en la producción de prototipos físicos. Los beneficios de la RV para la industria nuclear se obtienen a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la fase del diseño hasta la de explotación.

Según lo indicado por distintos autores (Keller et al., 2015; Koning et al., 2012; Pilia et al., 2015) para hacer frente a estos retos se ha aplicado la RV por su capacidad de facilitar la visualización de un entorno realista y de ofrecer soluciones a los ingenieros.

En todos los campos de la ingeniería, la formación previa al trabajo o entrenamiento es fundamental para los operarios, por lo que un sistema de RV inmersiva optimiza la eficacia de la transferencia de conocimientos y reduce la intervención didáctica (Blümel & Haase, 2010; Heemskerk et al., 2011; Hequet et al., 2016; Numfu et al., 2019; Randeniya et al., 2019).

Existe un estudio realizado por Kleiber et al., (2012) enfocado a labores de **mantenimiento** in situ. Se elaboró con la finalidad de prestar apoyo a trabajadores de mantenimiento cooperando con un experto remoto para resolver fallos no documentados. En este ámbito, el sistema de RV permitía al experto remoto visualizar un espacio de trabajo visual sincrónico para facilitar la comprensión de la situación y de los fallos ocasionados. Además, el sistema de RV le otorgaba la

posibilidad al experto de crear instrucciones en 3D para la tarea a realizar por parte del trabajador enviando la información a través de una Tablet. Además, en otro caso del mismo campo de aplicación se han desarrollado sistemas de teleoperación basados en RV que permiten la manipulación de vehículos aéreos no tripulados (Yashin et al., 2019).

En el campo de la **automoción**, la RV también se presenta como una valiosa herramienta para diseñadores e ingenieros. El resultado del estudio de Berg y Vance et al., (2017) indica que los fabricantes de automóviles se benefician enormemente de estas tecnologías en labores relativas a la formación de empleados, diseño de productos y la propia cadena de montaje, la verificación y evaluación del diseño y el mantenimiento de estos, entre otras muchas aplicaciones. (Abidi et al., 2013; Borsci, Lawson, Jha, et al., 2016; Borsci, Lawson, Salanitri, et al., 2016; Kulkarni & Kapoor, 2013; Quevedo et al., 2017).

La principal utilidad de la RV en la **industria energética** se basa a su vez en el mantenimiento debido a que en contraposición a los programas de formación tradicionales, la formación basada en la RV puede mejorar la seguridad de los trabajadores y de los equipos, la accesibilidad y la eficacia (Barata et al., 2015; Yin et al., 2015). El estudio de Li et al., (2013) señaló que muchos componentes importantes de las centrales poseen una gran demanda de mantenimiento, y que los estudiantes universitarios carecen de la posibilidad de acceder al estudio presencial de estos componentes por motivos de seguridad, de modo que facilitaría el aprendizaje de los mismos prevaleciendo por encima de los programas de mantenimiento tradicionales basados en 2D. Así mismo, los trabajadores de mantenimiento tendrán la posibilidad de formarse correctamente para prevenir riesgos como los que pueden derivar de las líneas eléctricas aéreas de alta tensión.

Las **industrias aeroespacial y militar** suelen poseer calendarios y costes muy ajustados. Los productos de estas industrias suelen incluir sistemas complejos dotados de grandes exigencias de disponibilidad y seguridad (Dopart et al, 2014; Geng et al., 2017). Al implementar las tecnologías de RV en los métodos de diseño, se pueden reducir drásticamente los tiempos de manufacturación y los costes (Sagardia et al., 2015), se pueden descubrir con antelación o a posteriori fallos de diseño (Guo et al., 2018) y se pueden mejorar los efectos en la formación (Bowling, 2010; Fernandes et al., 2013; Ganier et al., 2014; X. Li et al., 2012; Numfu et al., 2019; Shao et al., 2019). En campos como la industria del petróleo (Naranjo et al., 2018), la refrigeración (Regazzoni & Rizzi, 2013) y la fabricación de hierro (Vieira et al., 2017), también se han explorado aplicaciones.

Si nos centramos en el caso de la Realidad Aumentada (RA), sabemos que esta tecnología permite superponer información digital como gráficos, imágenes 3D, texto y vídeos sobre una vista del mundo real. Aunque su adopción en la fabricación ha sido gradual, la integración de tecnologías de última generación en la Industria 4.0 está impulsando su uso más amplio y frecuente en las plantas de producción. La RA

se está empleando en estrategias de mejora en la industria resolviendo problemas y frecuentemente en las plantas de producción. La RA se está empleando en estrategias de mejora en la industria, resolviendo problemas y aumentando la eficiencia en la producción. Mediante dispositivos tecnológicos, los trabajadores pueden visualizar contenido digital relevante superpuesto a su entorno físico, lo cual agiliza la formación y reduce la dependencia de manuales de consulta prolongada.

La RA ha demostrado beneficios de optimización del tiempo de trabajo, mejora de la seguridad, incremento de la eficiencia y reducción de errores en el ámbito industrial. Aunque aún se encuentra en una fase inicial de implementación, se observa una gran innovación y actividad en la industria en relación con esta tecnología. Además, la RA no se limita a un solo avance tecnológico, sino que se beneficia de otros avances en sensores, cámaras, localización, mapeo, CPU, pantallas táctiles, reconocimiento de voz y gestión de datos. La combinación de estas tecnologías hace que la RA sea viable en la industria manufacturera.

A medida que la tecnología avanza, la fabricación se enfrenta a nuevos desafíos. Los productos y procesos se vuelven más complejos, y la necesidad de mejorar la calidad se vuelve más apremiante. Al mismo tiempo, muchos trabajadores con experiencia se jubilan, llevándose consigo su conocimiento mientras que una cantidad reducida de trabajadores jóvenes ingresa a la industria, lo que genera una falta de habilidades y competencias. Aunque las plantas de producción están más digitalizadas y conectadas, utilizando sensores y formando parte del Internet de las Cosas (IoT), la falta de implementación de herramientas como RA impide que los trabajadores aprovechen estos recursos. Los manuales en papel y las guías de instrucciones aún se utilizan en las plantas de fabricación, lo que causa retrasos y errores en las operaciones. La RA ofrece una solución al permitir que los trabajadores accedan a los recursos digitales disponibles, como IoT, CAD, PLM, y otros contenidos que les ayuden en sus tareas.

Uno de los aspectos clave para el éxito de la RA es mejorar los dispositivos utilizados para visualizar la información digital. Los smartphones, tablets y visores de realidad aumentada, liberan las manos de los trabajadores al eliminar la necesidad de sujetar los dispositivos. Por ejemplo, las HoloLens de Microsoft son visores que proyectan las imágenes de información digital, como hologramas cerca del ojo del usuario. A pesar de todo, estos dispositivos aún se enfrentan a desafíos en términos de comodidad y duración de la batería, especialmente para los trabajadores que pasan largas horas en fábricas. En la industria manufacturera, por ejemplo, todavía se depende en gran medida de smartphones y tablets.

Afortunadamente, se han logrado avances en la resolución de estos problemas, dispositivos como las HoloLens 2 de Microsoft ofrecen un amplio campo de visión y un diseño cómodo para usar durante largos periodos. Por otro lado, RealWear ha optado por un enfoque diferente con su dispositivo HMT-1, que se asemeja a un tablet portátil y resistente, diseñado específicamente para entornos industriales. El

dispositivo se monta en un casco de seguridad, provisto de pantalla y micrófono. La pantalla sirve para realizar consultas a las instrucciones mientras se trabaja, pudiendo acceder al contenido mediante reconocimiento de voz.

Estos dispositivos anteriormente descritos no solo facilitan el trabajo de los empleados, sino que también permiten que los supervisores remotos o expertos compartan audio y vídeo en tiempo real para otorgar asistencia durante las reparaciones o situaciones de resolución de problemas.

En el sector industrial y de fabricación, cada vez más centrado en la transformación digital, se ve perjudicado por una deficiencia y falta de competencias o destrezas en los trabajadores, y agravado con el éxodo de trabajadores de mucho talento con valiosos conocimientos. El conocimiento de estos expertos en materia se debe aprovechar, reunir, empaquetar y entregar a los nuevos trabajadores de forma que se acelere el tiempo hasta ser productivos y reduzcan costes de la formación.

El Instituto Americano de Fabricación predice que, a pesar de las necesidades de puestos de trabajos en el mundo de la fabricación, muchos de ellos se quedarán vacíos a consecuencia de que los nuevos trabajadores no tienen el mismo nivel de conocimientos que los que se jubilan, dejando a los sectores industrial y de fabricación con una fuerza de trabajo menos productiva. Este hecho es muy importante por varias razones. En primer lugar, tradicionalmente, estos expertos actúan como mentores de novatos y aprendices ya que les explican no sólo los métodos adecuados de flujo de trabajo, sino que también identifican atajos y consejos. Esto incluye todo el conocimiento táctico y los trucos que se han acumulado a través de años de experiencia y que no están escritos en ninguna parte. Segundo, estos trabajadores también entienden la importancia de la seguridad, lo cual es igualmente valioso tanto para los nuevos trabajadores como para la empresa. Tercero, estas relaciones de mentorado, se llevan a cabo en tiempo real y personalmente, lo cual mantiene la experiencia de aprendizaje lo más cerca posible de las tareas reales. Es por ello que se necesitan desarrollar herramientas que reúnan, empaqueten y envíen estos conocimientos a los nuevos trabajadores de una manera eficiente, rentable y escalable con el objetivo de reducir el tiempo hasta ser productivos a la vez que se minimizan los costes de formación.

Para desarrollar herramientas que solventen este problema hay que entender, primero, la naturaleza de los conocimientos para que se puedan recopilar y reunir, y segundo, la manera en la que aprende el cerebro para que el contenido recopilado se pueda empaquetar y entregar de la manera óptima.

En el caso de nuevas generaciones como los millennials y la generación Z, al ser nativos en tecnologías digitales, se ha observado que aprende de manera distinta a través de métodos audiovisuales y prácticos, presentados en formatos breves y diversos. Estas generaciones están cómodas con la tecnología y han desarrollado habilidades colaborativas, lo que les ha permitido practicar en simulaciones de

trabajo sin temor a cometer errores costosos. Además es cierto que los trabajadores más jóvenes tienden a aburrirse más fácilmente en puestos de trabajo poco motivantes o donde se realizan tareas estancadas en el pasado, y tienen expectativas de cambio si encuentran su trabajo lo suficientemente estimulante, en contraste a la Generación X, que aprendió mediante la observación y métodos más tradicionales como cursos, talleres y demostraciones de capacitación.

6.2 TRANSFORMACIÓN DE DATOS CAD A RV

El proceso de trabajo de la mayoría de las empresas industriales que desarrollan y fabrican sistemas y productos, se basa en el diseño asistido por ordenador (CAD). El modelado CAD es el objeto principal para generar, registrar y representar los datos de un producto tecnológico a lo largo de todo su ciclo de vida. Todos los procesos y tareas propios de su ciclo de vida utilizan el modelo CAD como medio para generar, procesar y guardar sus datos específicos como pueden ser: diseño, simulación, fabricación, producción, logística y mantenimiento. Por ello se han creado multitud de datos estandarizados (STEP, IGES), que pueden ser procesados por las herramientas de ingeniería más comunes a lo largo del ciclo de vida del producto, con una excepción, los motores de RV.

El impulso de la tecnología de RV se debe primordialmente a la industria del juego y el entretenimiento. En estos sectores, los requisitos del apartado gráfico son completamente diferentes a los del área de ingeniería, por ejemplo, el contenido de datos de los objetos de juego, comparado con el de los objetos de ingeniería, es muy superficial. Para un objeto de un juego solo es importante su apariencia superficial, sin embargo, para una aplicación de RV de ingeniería, se necesitan todos los datos sólidos, incluida la información sobre el material y la tolerancia de una pieza. Debido a ello, los motores de RV comunes, incluyendo sus interfaces y procesadores de datos, se han implementado originalmente para el diseño de juegos, luego se centran en el procesamiento de datos de la superficie de la luz y menos en datos sólidos. Para hacer frente a este problema, es necesario un proceso de transferencia de datos manual desde el entorno CAD al entorno de RV.

Por ello, se han realizado numerosos proyectos de investigación que cierran la brecha entre los sistemas CAD y la RV. El trabajo de Graf (et al., 2002) se centró en transferir los datos CAD a la RV utilizando un sistema de gestión de productos (PMD). Lorenz et al., (2016) ha definido un flujo de trabajo de conversión de datos CAD-RV utilizando el estándar VRML (Virtual Reality Modeling Language). Petermann Stezel et al. (2012) han definido un enfoque para la plataforma de colaboración basada en RV utilizando los estándares STEP (Standard for the Exchange of Product Model data) y JT (Jupiter Tessellation). Han surgido enfoques similares a los de Petermann Stezel creados por Kim & Weissmann et. al. (2006), Raposo et. al. (2006) y Tang & Gu et. al. (2010). Sin embargo, se centran en la transformación de datos de un sistema CAD específico y con un formato de datos

CAD específico. Además, solo tienen en cuenta las aplicaciones de RV y los datos basados para la RV-Powerwall y la RV-Cave, y no son aplicables a las soluciones de RV basadas en dispositivos HMD.

6.3 ENTRENAMIENTO Y FORMACIÓN A TRAVÉS DE RV, RA Y XR

El uso de la RV en los laboratorios universitarios, gubernamentales e industriales está en auge. Las primeras aplicaciones prácticas de formación basadas en RV surgieron durante la primera década del siglo XXI, especialmente en la industria de defensa, aeroespacial y del automóvil (Fassbender & Jones, 2014). La RV es de mayor aplicación con el paso del tiempo en el ejército como un método de análisis estratégico y para entrenamientos en situaciones de conflictos bélicos (Haar, 2005).

Otro sector en el que se ha aplicado además el uso de RV ha sido para la formación de profesionales en las ciencias médicas, donde entre otras aplicaciones, destaca la formación quirúrgica o de diagnóstico (Wittstock et al., 2014). En este ámbito en particular permite que las visualizaciones se manipulen con una inmediatez intuitiva similar a la de los objetos reales. En un entorno virtual, el usuario o espectador es capaz de visualizar la escena desde cualquier punto de vista, utilizando objetos que pueden ser dinámicos, pudiendo incluirse además la posibilidad de interactuar con la escena y con los objetos incorporándose otros sentidos, como el tacto y el oído para enriquecer la visualización (Akay & Marsh, 2001), creando que el nivel de interacción con la escena y con el objeto sea directo.

En la actualidad, la tecnología de la RV y RA se utiliza cada vez más en las escuelas para ayudar a los niños a comprender cuestiones complejas de forma lúdica, por ejemplo, en problemas relacionados con las matemáticas o la física, como pueden ser aquellos que requieran de una gran visión espacial. Además, se han realizado varios estudios en los que se utilizan estos entornos para simular situaciones que son demasiado peligrosas para practicarlas en la vida real, como por ejemplo, las técnicas de seguridad contra incendios (S. Smith & Ericson, 2009). Otras aplicaciones de la formación basadas en la XR pueden encontrarse en la enseñanza de ingeniería en las universidades y empresas industriales, por ejemplo, en la formación de operadores de máquinas y herramientas, en procesos de ensamblaje o en el manejo de equipos pesados (Wittstock et al., 2014).

6.4 INVESTIGACIÓN ACTUAL EN APLICACIONES INDUSTRIALES

Los notorios avances en hardware y en los gráficos por ordenador han facilitado la incorporación de la Realidad Extendida (XR) en numerosos campos de aplicación industrial. Sin embargo, la expansión de la tecnología de XR ha derivado en la necesidad de resolver algunos retos que están siendo atendidos desde distintas

líneas de investigación. A continuación, se exponen los tres que se consideran más destacables.

Reto 1. Creación de contenidos automáticos.

Un escenario de aplicación importante para la XR es el desarrollo de operaciones de mantenimiento en productos e instalaciones industriales. Los usuarios requieren de la dotación de instrucciones de funcionamiento e información de un entorno de RV o RA para respaldar el trabajo en el lugar o la formación in situ.

Las soluciones comerciales actuales presentan varias limitaciones, como la falta de distinción entre las instrucciones virtuales y los objetos reales, lo que obliga al usuario a recrear las mismas operaciones para diferentes objetos. Además, los usuarios deben crear el contenido desde cero.

Para abordar estos problemas, el trabajo de Vincent et al. (2017) propuso un método basado en un flujo de trabajo que tiene en cuenta las habilidades del usuario. Este método ofrece varias ventajas: una significativa reducción en el tiempo necesario para la validación de operaciones reduciéndose de 96 a 51 minutos; la posibilidad de autorizar una operación para diferentes propósitos; y la eliminación de la necesidad de poseer habilidades de programación por parte del usuario. En otro estudio elaborado por Jens Keil et. al. (2015), se propuso una aplicación conceptual de Realidad Aumentada industrial basada en HTML y JavaScript Object Notation (JSON), donde las instrucciones de mantenimiento podrían generarse a partir de un manual tradicional, sin necesidad de comenzar desde cero.

Reto 2. Percepción de inmersión en la realidad.

Las personas interactúan naturalmente con el mundo exterior. Un sistema de Realidad Virtual (RV) debe hacer que los usuarios sientan que están en un entorno realista e interactivo. Para cumplir este objetivo, además de mejorar la fidelidad visual, son importantes las percepciones del tacto, el olor y el oído. A través de experimentos, varios estudios (Chamaret et al., 2010; Pelliccia et al., 2017; Van Oosterhout et al., 2019; Y. F. Yang et al., 2019) han descubierto que la retroalimentación háptica en los sistemas de RV tiene una gran influencia en el rendimiento del personal mientras realiza las tareas en RV.

La RV puede ofrecer un entorno seguro y eficaz para la simulación y el entrenamiento en trabajos delicados o peligrosos. Los gráficos realistas y una retroalimentación háptica precisa pueden mejorar considerablemente la autenticidad de estas simulaciones (Sagardia et al., 2015).

En otro estudio (Louison et al., n.d.), se llegó a la conclusión de que el feedback háptico puede mejorar la conciencia de los usuarios en un entorno de RV para tareas

específicas. Además, en la investigación de Sagardia et. al. (2015), se propuso un algoritmo de representación háptica y el desarrollo de un dispositivo háptico bimanual denominado HUG para resolver la interacción física en un entorno virtual inmersivo.

Reto 3. Seguimiento de movimiento real en el entorno virtual.

El seguimiento del movimiento es una función crucial para un sistema de RV porque la corrección del seguimiento del movimiento y la orientación del usuario permitirán una interacción eficaz entre el usuario y el entorno de RV inmersivo. Existen muchos tipos de soluciones comerciales de mocap (motion capture), sin embargo, estas soluciones requieren la colocación de marcadores o sensores en las articulaciones del cuerpo humano para obtener resultados precisos y fiables en el seguimiento del movimiento, lo que resulta intrusivo y costoso.

Además, cuando varios usuarios se superponen en una escena y crean un efecto de apantallamiento, la calidad de captura de movimiento se ve significativamente reducida. Para abordar estos problemas, el trabajo de Leoncini et al. (2017) propuso un método de captura de movimiento que fusiona las imágenes capturadas por múltiples dispositivos Kinect (desarrollados por Microsoft), ampliando así el área de seguimiento y eliminando el efecto de apantallamiento entre varios usuarios. Otra estrategia de fusión puede combinar el uso de Kinect y el dispositivo Leap Motion montado en la cabeza para rastrear el movimiento de todo el cuerpo, así como los detalles de las manos.

Las soluciones actuales para la captura de movimiento (mocap), ofrecen una precisión satisfactoria y su estructura técnica es altamente sofisticada. Un ejemplo son los sistemas de rastreo de los sensores de HoloLens y ciertas gafas de RV que integran sensores similares a Leap Motion capaces de hacer seguimiento a manos y dedos.

Como resumen general, se podría decir que la investigación actual en aplicaciones industriales de la XR se centra en superar desafíos como la generación automática de contenido, la percepción inmersiva de la realidad y el seguimiento preciso del movimiento en entornos virtuales. A medida que se crea un avance en estas áreas, se estima que la XR desempeñará un papel cada vez más notorio en la industria, brindando beneficios significativos en términos de eficiencia, seguridad y capacitación.

7 TEORÍA DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Como hemos nombrado anteriormente, la Industria 4.0 representará un escenario totalmente competitivo en donde las empresas deberán tener cuidado de no caer en la obsolescencia debido a el constante crecimiento disruptivo de todas las tecnologías de esta cuarta revolución industrial. Es por ello por lo que los conocimientos en la Teoría de Distribución en Planta serán de vital importancia para marcar un diferencial competitivo.

La Teoría de Distribución en Planta se emplea para lograr la máxima eficiencia y flexibilidad posible en función de la demanda, a través de una correcta distribución de los medios productivos, tanto para hacer frente a los escenarios actuales como los que pudieran surgir en el futuro. La manera en la que se ordenan estos medios productivos influye directamente la gestión de las instalaciones, en los medios de mantenimiento y almacenamiento, y en los sistemas de comunicación entre departamentos. En consecuencia, una adecuada distribución en planta debe tener en cuenta cuáles son los objetivos estratégicos y tácticos de la empresa, así como los posibles conflictos que pudieran surgir entre ellos.

7.1 FACTORES IMPORTANTES A LA HORA DE ELABORAR UNA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

La distribución de la planta de un modelo de negocio afectará directamente a distintos factores, por ello a la hora de establecerla, habrá que tener en cuenta la totalidad o la gran mayoría de ellos. Estos factores se pueden englobar las distintas categorías nombradas a continuación:

Materiales. La distribución de los factores productivos dependerá de las características de estos y de los materiales sobre los que haya que trabajar. Será fundamental tener en cuenta factores de estos como pueden ser su tamaño, forma, volumen, peso y las características físicas y químicas. En este sentido, una buena distribución en planta vendrá relacionada con la comodidad que se brinda para manejar los distintos productos y los materiales necesarios para efectuar el trabajo.

Es de vital importancia que los almacenes de materiales que se utilizan para llevar a cabo el proceso productivo estén ubicados lo más cerca posible de las zonas donde se lleva a cabo el trabajo, para minimizar los tiempos de obtención de estos y optimizar la producción.

Maquinaria. En lo que respecta a la maquinaria empleada en los procesos productivos, es evidente la necesidad de conocer qué tareas son las encargadas de desempeñar el proceso, pero también es fundamental conocer características de estas como la altura, peso, forma, cantidad de operarios que necesita la máquina

para operar y los riesgos que pueda ocasionar sobre ellos. La distribución de la maquinaria en la planta y su orden específico para llevar a cabo el proceso productivo es de vital importancia.

Mano de obra. La mano de obra debe estar organizada en el proceso de distribución, tanto la de los propios operarios como la indirecta, sean estas la supervisión y demás servicios auxiliares. Será fundamental tener en cuenta la cualificación de los trabajadores, el número necesario de ellos en cada estación de trabajo y la flexibilidad y productividad de estos. Minimizar el movimiento de los trabajadores entre los distintos departamentos, conllevará una agilidad del proceso productivo, lo que hará nuestra distribución más eficiente y óptima.

Esperas. Uno de los grandes pilares que trata la distribución en planta, es el de minimizar las esperas pues, como es lógico, cuanto más reducidas sean las esperas, más tiempo se estará llevando a cabo el proceso productivo, lo que derivará en mejores resultados y menores costes. Cuando hablamos de las esperas, nos referimos tanto a la de los propios trabajadores, ya sea porque no tienen los materiales necesarios para llevar a cabo su tarea, o porque requieren de algún conocimiento de sus supervisores, como hemos nombrado en puntos anteriores. También está referido a las esperas de las máquinas, una correcta organización y distribución hará que las máquinas estén trabajando el mayor tiempo posible.

Servicios auxiliares. Cuando hablamos de servicios auxiliares, hablamos de un amplio abanico de departamentos, sea este de materiales como protección de incendios, primeros auxilios o seguridad industrial como tal; relativos al material como pueden ser departamentos de inspección y control de calidad; o relativos a la maquinaria, como el mantenimiento y las distribución de estas líneas de servicios auxiliares. Aunque en primera instancia se pueda considerar que dedicarles un espacio adecuado a labores no productivas sea un gasto innecesario, estos servicios brindan apoyo al resto de departamentos, por tanto, es importante que el espacio que ocupen posea una buena distribución.

Edificio industrial. Como es de suponer, las características estructurales poseen gran relevancia dentro de la distribución en planta, no es lo mismo establecer un plan de distribución en un edificio ya existente, el cual tendrá que ser reorganizado y reformado, a un edificio de nueva construcción con un plan bien elaborado desde el principio. Las características del edificio influirán directamente en las zonas donde se podrán establecer los distintos departamentos y maquinarias, para posteriormente ver qué zonas son las óptimas para cada uno.

Cambios. Uno de los grandes objetivos que persigue la distribución en planta es el de poder afrontar los cambios que surjan en el sistema productivo, es decir, su flexibilidad. A la hora de establecer un modelo de distribución, será necesario tener en cuenta los posibles cambios a los que puede estar sometida la planta en el futuro, debido a los constantes avances y cambios tecnológicos en el sector industrial. Para

ello, habrá que empezar identificando los posibles cambios y su importancia, con el fin de buscar una distribución capaz de adaptarse a estos dentro de unos límites realistas que aseguren que el proceso siga siendo eficiente y otorgando los mejores resultados posibles.

Para lograr que una distribución en planta sea flexible, es necesario tener en cuenta diversos factores como las posibles ampliaciones de las zonas de trabajo y de los distintos elementos y permitiendo buenas respuestas ante situaciones de emergencia o variaciones de las actividades cotidianas del proceso.

Una vez definidos los factores a tener en cuenta para llevar a cabo una correcta distribución en planta, se procede a explicar los objetivos a cumplir por la misma. Cuando hablamos de este tema de estudio, es importante nombrar a Richard Muther (1965,1981), probablemente el ingeniero industrial más importante en cuanto a los estudios realizados en la distribución en planta. Muther, estableció una serie de principios para englobar los objetivos que establecieron numerosos autores. De esta manera, se logra crear una metodología que permite establecer una correcta distribución en planta de forma sistemática. Estos principios establecidos por Muther en 1981 citan textualmente lo siguiente:

I. Principio de la integración de conjunto.

“la mejor distribución es la que integra a los operarios, los materiales, la maquinaria, las actividades, así como cualquier otro factor, de modo que resulte el mejor compromiso entre todas esas partes”.

II. Principio de la mínima distancia recorrida.

“en igualdad de condiciones, es siempre mejor la distribución que permite que la distancia a recorrer por el material entre operaciones sea la más corta”.

III. Principio de la circulación o flujo de materiales.

“en igualdad de condiciones, es mejor aquella distribución que ordene las áreas de trabajo de modo que cada operación o proceso esté en el mismo orden o secuencia en que se tratan, elaboran, o montan los materiales”.

IV. Principio del espacio cúbico.

“la economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto en vertical como en horizontal”.

V. Principio de la satisfacción y de la seguridad (confort).

“en igualdad de condiciones, será siempre más efectiva la distribución que haga el trabajo más satisfactorio y seguro para los operarios, los materiales y la maquinaria”.

VI. Principio de la flexibilidad.

“en igualdad de condiciones, siempre será más efectiva la distribución que pueda ser ajustada o reordenada con menos costos o inconvenientes”.

La integración de todos los principios mencionados lograrían una distribución en planta efectiva.

7.2 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA SEGÚN SU NATURALEZA

Una vez explicados y comprendidos tanto los factores a tener en cuenta, como los objetivos que se persiguen con la distribución en planta, se proceden a explicar los distintos tipos que existen. Richard Muther y Rabada (1981) los engloba en cuatro tipos en función del problema a abordar, siendo estos:

Tipo 1. Proyecto de una planta completamente nueva.

Este caso surge principalmente cuando se crea un nuevo modelo de negocio, cuando se empieza a fabricar un nuevo producto en un modelo de negocio ya existente, o cuando se expande uno ya existente a un nuevo área.

Tipo 2. Expansión o traslado a una planta ya existente.

En este caso, el proyectista en función de unos servicios y un edificio industrial ya existente deberá de adaptar la estructura organizativa, un proceso y unos medios productivos que ya se están llevando a cabo a una nueva situación.

Tipo 3. Reordenación de una planta ya existente.

El proyectista deberá abordar el problema de reorganizar un proceso productivo existente, ya sea para lograr una mayor eficiencia en este, o por la incorporación de un nuevo proceso o maquinaria. Tendrá que adaptarse a las mismas restricciones existentes durante la generación de la distribución original, como pueden ser las instalaciones previamente proyectadas o las dimensiones del edificio industrial.

Tipo 4. Ajustes menores en distribuciones ya existentes.

El proyectista deberá resolver un problema en específico sin influir notablemente en la distribución del conjunto, interrumpiendo únicamente lo imprescindible y realizando ajustes mínimos necesarios. Este tipo surge principalmente cuando se modifican las condiciones de operación debido a pequeñas variaciones, nuevos volúmenes de producción a cumplir en función de la demanda, o cambios en la maquinaria o en los equipos, lo cual suele derivar en un reajuste de las áreas de trabajo, del personal, o de los propios sistemas.

En la Figura 8 adjunta a continuación podemos ver el grado de frecuencia de la necesidad de llevar a cabo estos tipos de distribución en planta y las causas más comunes.

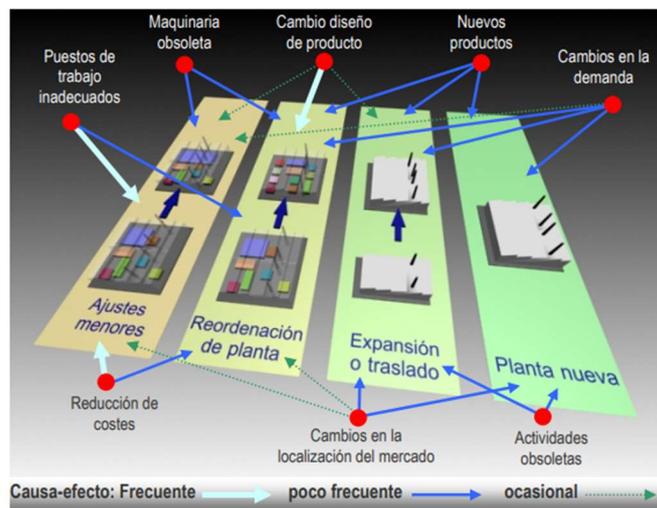


Figura 8. Tipos de distribución en planta según su naturaleza. Fuente: https://unavdocs.files.wordpress.com/2010/10/diego_mas_distribucion_en_planta.pdf

7.3 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA SEGÚN EL MOVIMIENTO DE LOS MEDIOS DIRECTOS DE PRODUCCIÓN

Según el tipo de movimiento de los medios de producción, existen tres tipos de distribución en planta:

- Distribución por posición fija.

La distribución por posición fija, como su nombre indica, es aquella donde los operarios, la maquinaria y los equipos se trasladan a los puntos de operación, y por tanto el activo a producir permanece estático. Se lleva a cabo fundamentalmente en proyectos de gran tamaño que no se pueden mover entre distintas zonas o departamentos de la fábrica, por ello la distribución suele conllevar una planificación

precisa de las actividades o procesos a desarrollar. La cantidad de productos finales como resultado suele ser reducida y de forma discontinua en el tiempo.

Este tipo de distribución se lleva a cabo normalmente en el sector de la construcción, ya sea de obras públicas, en astilleros durante la fabricación de grandes barcos, o en naves durante la fabricación de grandes aviones y turbinas.

- Distribución por proceso, funciones, secciones o talleres.

Este tipo de distribución se lleva a cabo cuando la producción se lleva a cabo en lotes. En una misma zona se agrupan las operaciones de un mismo proceso productivo, dando lugar a talleres que realizan determinadas operaciones sobre los materiales, los cuales recorren los talleres en función de la secuencia de operaciones que se necesite, tal como se observa en la Figura 9. La secuencia requerida por cada tipo de producto fabricado suele ser distinta, por lo que esta distribución se utiliza también para elaborar distintos productos con operaciones comunes, de esta forma se crea una gran diversidad de flujos de materiales entre los talleres.

Entre sus ventajas encontramos la gran flexibilidad que ofrece, al tener la posibilidad de procesar varios productos, por tanto, su eficiencia dependerá del tamaño del lote producido, además los trabajadores de cada taller son profesionales cualificados, y un mismo operario puede controlar varias máquinas de manera simultánea. Sin embargo, esta distribución es poco eficiente si hablamos de la realización de las tareas y de la manutención, pues al existir zonas con operaciones comunes, el almacenaje, manipulación y aprovisionamiento de piezas u mercancías se hace tedioso.

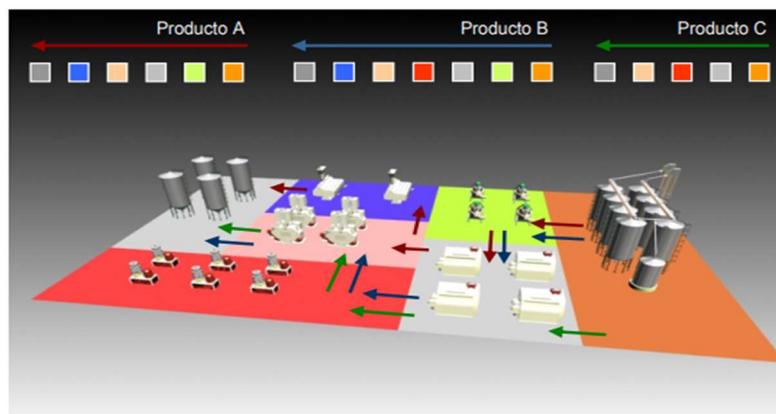


Figura 9. Distribución por proceso, funciones o talleres. Fuente: Carpio-Tirado Lazo, L. A. (2016). Propuesta de redistribución de planta para una empresa de confección textil.

- Distribución por producto, en cadena o en serie.

Se trata de un tipo de distribución por proceso, cuando toda la maquinaria y equipos necesarios para la fabricación de un producto se agrupan en una misma área en la cual se sucede una serie de operaciones que se deben realizar sobre el material para confeccionar el producto final. El producto recorre una línea de producción desde una estación de entrada a otra de salida y se ve sometido a distintas operaciones en el proceso, esto se puede observar en la Figura 10.

Este sistema se lleva a cabo en la fabricación de grandes cantidades de productos, pues permite reducir tiempos de fabricación y minimizar el trabajo en curso y el manejo de materiales. Pero posee los inconvenientes de que se requiere de una gran inversión, y que un fallo en una operación puede parar toda la cadena, además de que el trabajo es constante y monótono para los operarios. Este tipo, se lleva a cabo en plantas de ensamblaje de automóviles, embotellado y envasado de alimentos.

Es importante comentar que también es el tipo de distribución que se lleva a cabo en el caso de aplicación de este Trabajo de Fin de Grado, de una Inspección Técnica de Vehículos (ITV).

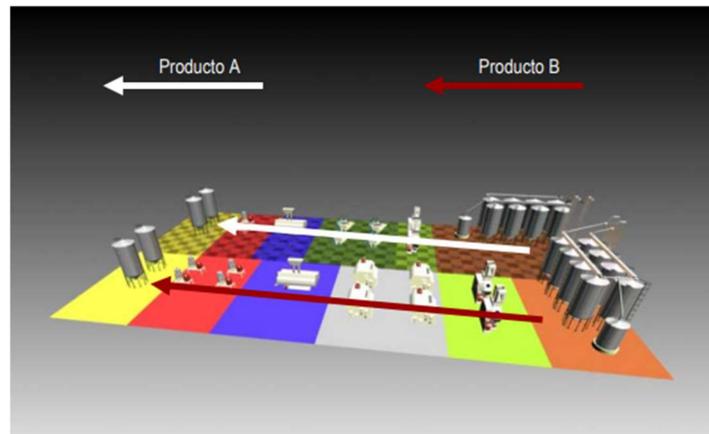


Figura 10. Distribución por producto, cadena o serie. Fuente: Carpio-Tirado Lazo, L. A. (2016). Propuesta de redistribución de planta para una empresa de confección textil.

En la Tabla 3, podemos encontrar las características fundamentales de cada uno de estos tipos de distribución en planta.

Atendiendo a	Por producto	Por proceso	Posición fija	Sistemas Flexibles
Producto	<ul style="list-style-type: none"> Productos estándar Alto volumen de producción Demanda estable 	<ul style="list-style-type: none"> Varios productos con operaciones comunes Volumen de producción variable Demanda variable 	<ul style="list-style-type: none"> Bajo pedido Bajo volumen de producción 	<ul style="list-style-type: none"> Series pequeñas y medianas (lotes) Flexibilidad. Gama de productos amplia
Líneas flujo material	<ul style="list-style-type: none"> Procesos lineales Secuencias iguales para todos los productos 	<ul style="list-style-type: none"> Líneas entremezcladas, retorcidas 	<ul style="list-style-type: none"> No definidas Material estático 	<ul style="list-style-type: none"> Cortas y sencillas
Cualificación del trabajador	<ul style="list-style-type: none"> Rutinario y repetitivo Especializado 	<ul style="list-style-type: none"> Intermedia 	<ul style="list-style-type: none"> Gran flexibilidad Alta cualificación 	<ul style="list-style-type: none"> No hacen falta trabajadores
Necesidad de personal	<ul style="list-style-type: none"> Gran cantidad Planificación de material-operarios Trabajo de control y mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> Personal de planificación, manejo de materiales, producción y control de inventarios 	<ul style="list-style-type: none"> Para programación y coordinación 	<ul style="list-style-type: none"> Prácticamente nula, sólo supervisión
Manejo de materiales	<ul style="list-style-type: none"> Predecible Flujo sistemático y automatizable 	<ul style="list-style-type: none"> Flujo variable Sistemas de manejo duplicados a veces 	<ul style="list-style-type: none"> Flujo variable Equipos de manejo generales 	<ul style="list-style-type: none"> Síncrono, totalmente automático
Inventarios	<ul style="list-style-type: none"> Mucha rotación de materiales, inventarios reducidos 	<ul style="list-style-type: none"> Largos Mucho trabajo en curso 	<ul style="list-style-type: none"> Variables, continuas modificaciones 	<ul style="list-style-type: none"> Mucha rotación de materiales, inventarios reducidos
Uso de espacios	<ul style="list-style-type: none"> Eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> Poco efectivo Mucho requerimiento por trabajo en curso 	<ul style="list-style-type: none"> Baja producción por unidad de espacio 	<ul style="list-style-type: none"> Muy efectiva
Inversión	<ul style="list-style-type: none"> Elevada en equipos especializados 	<ul style="list-style-type: none"> Equipos y procesos flexibles 	<ul style="list-style-type: none"> Equipos y procesos móviles de propósito general 	<ul style="list-style-type: none">
Coste del producto	<ul style="list-style-type: none"> Costes fijos elevados Costes variables bajos (mano de obra y materiales) 	<ul style="list-style-type: none"> Costes fijos bajos Costes variables elevados (material y transporte) 	<ul style="list-style-type: none"> Bajos costes fijos Elevados costes variables (mano de obra y materiales) 	<ul style="list-style-type: none"> Costes fijos elevados Costes variables bajos

Tabla 3. Características de los tipos básicos de distribución en planta.

Es objeto del caso de aplicación planteado en el presente estudio, la distribución por producto, cadena o en serie.

7.4 SYSTEMATIC LAYOUT PLANNING (SLP)

El Systematic Layout Planning (SLP), presente en la Figura 11 fue desarrollado por Muther (Muther, 1968) como un procedimiento multicriterio y relativamente simple para la resolución de problemas de distribución en plantas de diversa naturaleza. De esta manera se establecen una serie de fases y técnicas que permiten identificar, valorar y visionar todos los elementos involucrados en la implantación y relaciones existentes entre ellos.

Este procedimiento se basa en la información referente a la resolución del problema, para a través de un proceso de cuatro etapas, obtener una distribución válida como solución al problema planteado. Además de las relaciones entre departamentos, cinco tipos de datos son necesarios como entradas del método, siendo estos:

- Producto (P): Considerándose como producto también los materiales (materias primas, piezas, productos en curso, producto terminado, etc.)

- Cantidad (Q): Cuantía de producto o material tratado, transformado, transportado, utilizado en el montaje o durante el propio proceso productivo.
- Recorrido (R): Se entiende como la secuencia y orden de las operaciones a las que deben someterse los productos.
- Servicios (S): Servicios auxiliares de producción, servicios para el personal, etc.
- Tiempo (T): Utilizado como unidad de medida para determinar las cantidades de producto o material, dado que éstos se miden habitualmente en masa o volumen, por unidad de tiempo.

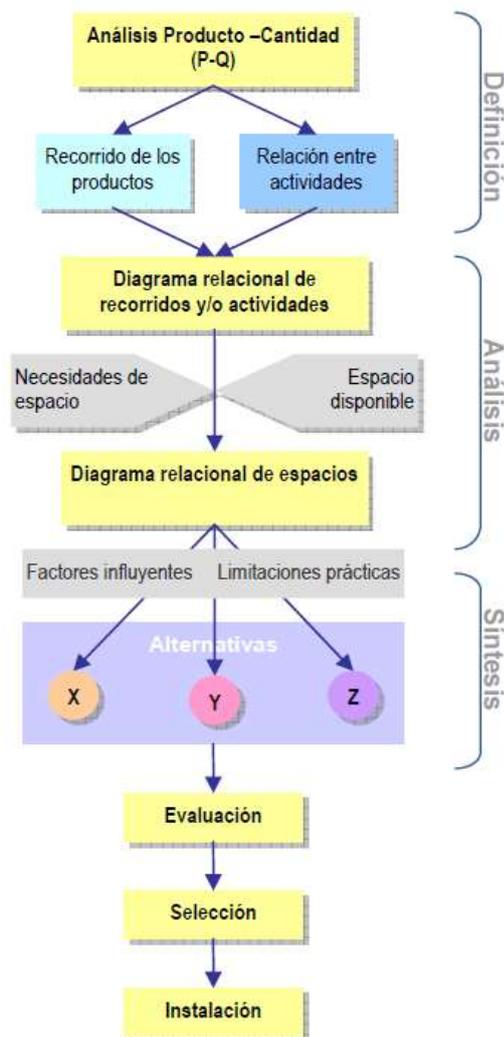


Figura 11. Esquema del Systematic Layout Planning. Fuente: [Muther, 1968]

7.4.1 Fases del SLP

1. Análisis P-Q

El análisis de la información relacionada con los productos y las cantidades a producir constituye el punto de partida fundamental de este método. A partir de este análisis podemos determinar el tipo de distribución más apropiado para el proceso que estamos estudiando. Según las recomendaciones de Muther, se sugiere la creación de un histograma de frecuencias que represente en el eje horizontal, los diferentes productos a fabricar, y en el eje vertical las cantidades correspondientes de cada uno de ellos, como se puede observar en la Figura 12. Es importante representar los productos en orden descendente según la cantidad producida. A continuación, se adjunta un modelo de histograma para una distribución en cadena, que como comentamos anteriormente, es el caso de aplicación del presente estudio. En estas gráficas en las que pocos productos representan la mayor parte de la producción, se indican series de producción prolongadas y homogéneas, forzando la recomendación de implementar distribuciones orientadas al producto.



Figura 12. Gráficas para el Análisis P-Q de distintos tipos de distribución generales. Fuente: https://unavdocs.files.wordpress.com/2010/10/diego_mas_distribucion_en_planta.pdf1

2. **Análisis del recorrido de los productos**

En esta fase, se busca determinar la secuencia, cantidad y costo de los movimientos de los productos debido a las diferentes operaciones durante su procesado. Por ello, se utiliza la información del proceso productivo y los volúmenes de producción para la elaboración de gráficas y diagramas que describen el flujo de materiales. Estos diagramas pueden ser principalmente de tres tipos:

- Diagramas de recorrido sencillo: se emplean cuando se producen muy pocos productos (o uno solo) en cantidades pequeñas. En ellos se reflejan con exactitud los recorridos de cada producto para cada proceso.
- Diagramas multiproducto: Resultan adecuados cuando se produce poca cantidad de productos, pues se indica únicamente la secuencia de operaciones a las que se somete cada producto.
- Tablas matriciales: Su aplicación se produce para una gran cantidad de productos. Esta representación se basa en una matriz cuadrada en la que tanto filas como columnas representan las diferentes operaciones del proceso productivo. En las celdas se indica el número de veces que un producto circula desde la operación de fila hasta la operación de columna.

Estos diagramas y tablas proporcionan una visión clara y estructurada del flujo de materiales a lo largo del proceso productivo, lo que ayuda en la planificación y optimización de los movimientos de manera eficiente.

3. **Análisis de relaciones entre actividades**

Una vez conocido el recorrido de los productos, el proyectista debe considerar el tipo y la intensidad de las interacciones existentes entre las diferentes actividades productivas, los medios auxiliares, los sistemas de manutención y los diferentes servicios de la planta. Estas relaciones no se limitan únicamente a la circulación de materiales. La falta de flujo material entre dos actividades no implica que puedan existir otros tipos de relaciones que determinan aspectos como la necesidad de proximidad entre ellas, o que las características de un proceso determinado requieran de una posición específica en relación con un servicio auxiliar determinado.

En esta etapa, el proyectista debe considerar diversas cuestiones, como las exigencias constructivas, ambientales, de seguridad e higiene, los sistemas de

manutención necesarios, el abastecimiento de energía y evacuación de residuos, la organización de la mano de obra, los sistemas de control del proceso y los sistemas de información, entre muchos otros. Esta información será de vital importancia para poder integrar los medios auxiliares de producción de manera racional dentro de la distribución. Con el fin de representar de manera lógica las relaciones identificadas, y permitir la clasificación de la intensidad de dichas relaciones, se utiliza una tabla relacional de actividades como la que se puede observar como ejemplo en la Figura 13 adjunta a continuación.

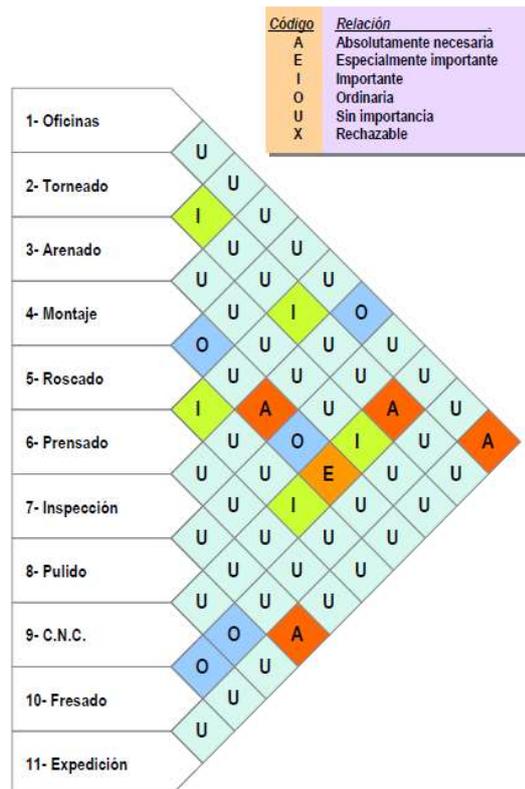


Figura 13. Tabla relacional de actividades. Fuente: https://unavdocs.files.wordpress.com/2010/10/diego_mas_distribucion_en_planta.pdf1

4. Diagrama relacional de recorridos y/o actividades

La información recopilada hasta el momento, que abarca tanto relaciones entre las actividades como la importancia relativa a la proximidad de estas, se registra en un diagrama conocido como Diagrama Relacional de Recorridos y/o Actividades, cuya función es la de representar la ordenación topológica de las actividades basándose en la información disponible.

El diagrama posee la apariencia de un grafo en el que las actividades se representan como nodos que están conectados por líneas. Las líneas indican la existencia de

algún tipo de relación entre las actividades conectadas. La intensidad de la relación se puede expresar mediante números junto a las líneas (Figura 14) o mediante un código correspondiente, como se puede observar en las siguientes figuras (Figura 15).

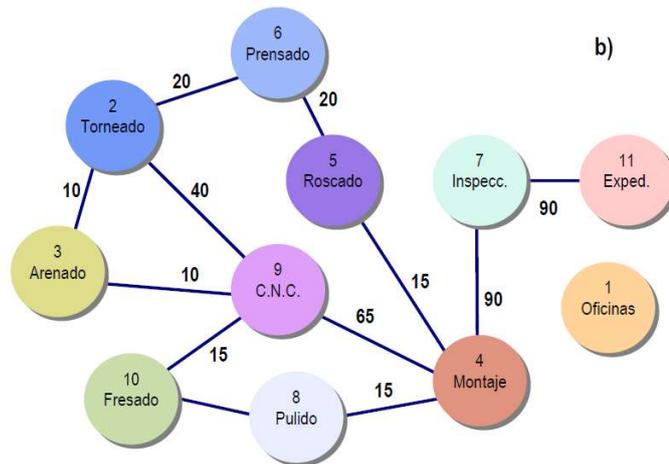


Figura 14. Diagrama relacional de actividades y/o recorridos mediante referencias numéricas.
 Fuente: https://unavdocs.files.wordpress.com/2010/10/diego_mas_distribucion_en_planta.pdf1

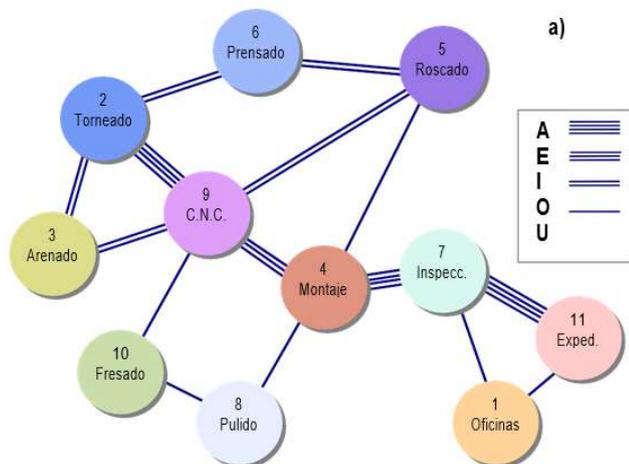


Figura 15. Diagrama relacional de actividades y/o recorridos mediante códigos. Fuente: https://unavdocs.files.wordpress.com/2010/10/diego_mas_distribucion_en_planta.pdf1

La disposición del diagrama debe realizarse de manera que se minimice el número de cruces entre las líneas que representan las relaciones entre actividades. De esta forma se busca lograr distribuciones en las que las actividades con un mayor flujo de materiales estén lo más cerca posible entre sí, y donde la secuencia las

actividades se parezcan a la forma en la que los materiales se tratan, elaboran o ensamblan (tercer principio de Muther, *circulación o flujo de materiales*).

5. Diagrama relacional de espacio

El siguiente paso a realizar para obtener alternativas factibles de distribución es introducir la información relacionada con el área requerida por cada actividad para su funcionamiento adecuado. El proyectista debe realizar una estimación tanto de la cantidad de superficie como de la forma del área asignada a cada actividad.

Sin embargo, no existe un procedimiento general ideal para calcular las necesidades de espacio, debido a que el espacio requerido por una actividad no depende únicamente de factores inherentes a la misma, ya que puede estar condicionado por características del proceso productivo global, la gestión del proceso o la demanda del mercado. Es por ello que es importante considerar que los resultados obtenidos son únicamente previsiones, basadas en fundamentos sólidos, pero con cierto margen de error.

El proyectista puede utilizar diferentes métodos de cálculo de espacio para estimar las necesidades de cada actividad, pero deben compararse con la disponibilidad real de espacio. Si la necesidad de espacio supera la disponibilidad, se deben hacer ajustes que impliquen reducir la superficie requerida o aumentar el espacio total en el propio proyecto de construcción.

El Diagrama Relacional de Espacios (Figura 16) es similar a los mencionados en el punto anterior, pero en este caso, los símbolos que representan las actividades se dibujan a escala para reflejar el área necesaria. Estos símbolos pueden incluir información adicional como el número de equipos o la ubicación de la actividad.

Con la información devuelta por este diagrama, se pueden crear diferentes alternativas de distribución, cuyo objetivo es de transformar el diagrama ideal en distribuciones reales, teniendo en cuenta las limitaciones y los factores prácticos, para ello, se pueden efectuar métodos manuales hasta enfoques más complejos basados en búsquedas inteligentes que generen y evalúen las distribuciones.

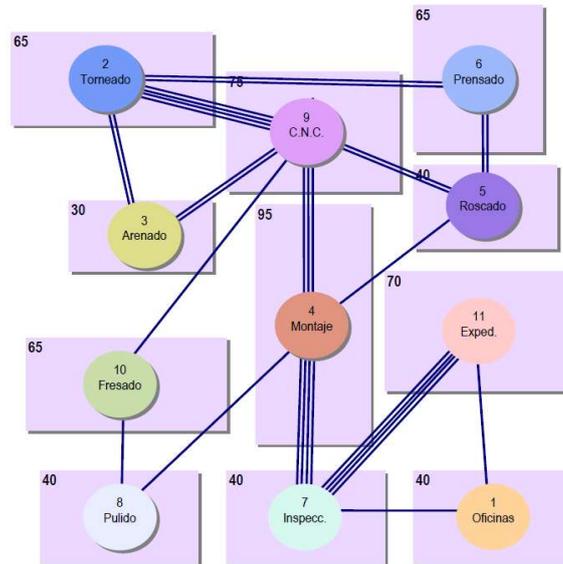


Figura 16. Diagrama relacional de espacio. Fuente:
https://unavdocs.files.wordpress.com/2010/10/diego_mas_distribucion_en_planta.pdf1

El planteamiento del Systematic Layout Planning, y su correspondiente diagrama relacional de espacio del caso de aplicación de una Inspección Técnica de Vehículos (ITV) que aborda el presente estudio teórico-científico será realizado en mayor detenimiento en capítulos posteriores.

7.5 MODELOS ESPACIALES PARA SITUAR LAS ACTIVIDADES EN EL DOMINIO DE UBICACIÓN

Resolver un problema de distribución en planta implica determinar la disposición de las actividades en el espacio de ubicación. La definición de la ubicación de cada actividad puede ser más o menos precisa, presentar formas compactas o dispersas, y el ámbito de definición puede consistir en una sola planta o en varias. En resumen, existen distintos modelos geométricos cuyas técnicas utilizadas para resolver el problema de la distribución pueden clasificarse en función del modelo adoptado.

De acuerdo con González García (et al., 2005), una posible clasificación dividiría las técnicas en dos grandes grupos dependiendo del modelo utilizado: Modelos topológicos y modelos geométricos. A su vez, los modelos geométricos se pueden clasificar según la dimensionalidad del espacio de ubicación, en modelos unidimensionales, bidimensionales, multiplanta y tridimensionales. Los modelos bidimensionales y multiplanta se pueden subdividir a su vez en función de si el problema se plantea discretizando el dominio global en unidades de áreas pequeñas, o si se determina el espacio asignado a cada actividad mediante divisiones recursivas del dominio. Al primer tipo se le conoce como modelo discreto

y al segundo como modelo continuo. Además de estos dos tipos, existe un tercer modelo que utiliza técnicas analíticas para la disposición de las actividades.

7.5.1 Modelos topológicos

Los modelos topológicos no proporcionan una representación precisa de la distribución de las actividades, sino que ofrecen una estructura topológica (normalmente representada mediante un diagrama) que considera las relaciones entre las actividades. El diagrama topológico de actividades mostrará una disposición aproximada de las mismas, con el objetivo de evitar intersecciones entre los recorridos, agrupar aquellas que tienen una relación más estrecha, separar las que lo requieran y, en definitiva, cumplir con los principios de la distribución en planta. En ningún caso se tiene en cuenta el área o la forma de la superficie necesaria para las actividades. El paradigma del modelo topológico se encuentra en las técnicas basadas en la Teoría de Grafos.

La teoría de grafos se aplicó por primera vez al problema de distribución sistemática en planta por Seppanen y Moore en 1970 (Seppanen et al., 1970). En general, estos procedimientos no garantizan que los departamentos con relaciones más intensas permanezcan adyacentes, y las formas de las actividades resultan ser irregulares y de baja calidad geométrica.

La aplicación de la teoría de grafos a la resolución del problema de distribución se puede dividir en tres etapas:

Primera etapa: Se transforma el diagrama relacional de recorridos y/o actividades (observado en el punto 5 del capítulo anterior) generado a partir de la tabla relacional de actividades, en el denominado grafo planar ponderado maximal (Figura 17). Un grafo ponderador asigna valores a las aristas que representan magnitudes como costos o beneficios. Un grafo planar se puede representar bidimensionalmente de manera que las aristas solo se crucen en los vértices. Un grafo planar maximal es aquel que deja de ser planar si se agrega una arista adicional. En esta etapa, las actividades se consideran sin área, dándole prioridad a las relaciones entre actividades sobre su geometría y área. Los nodos del grafo representan actividades, mientras que las aristas y sus pesos representan las intensidades relacionales entre actividades.

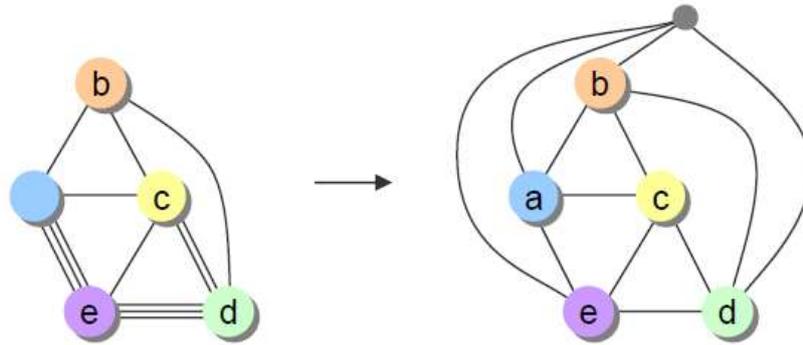


Figura 17. Grafo planar ponderado maximal a partir de la modificación de un diagrama relacional.
 Fuente: Extraído de Santamarina, M. C., Pérez, A. H., Cano, J. J., & Contero, M. (1995). Distribución en planta. Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Pu

Segunda etapa: A partir del grafo planar ponderado máximo se construye el denominado grafo dual, colocando un vértice en cada cara del grafo planar y conectando sus vértices cuyas caras tienen aristas comunes (Figura 18). Al considerar ambos grafos conjuntamente, cada vértice del grafo original (actividad) está rodeado por las aristas del grafo dual, lo que proporciona una idea inicial del posible layout.

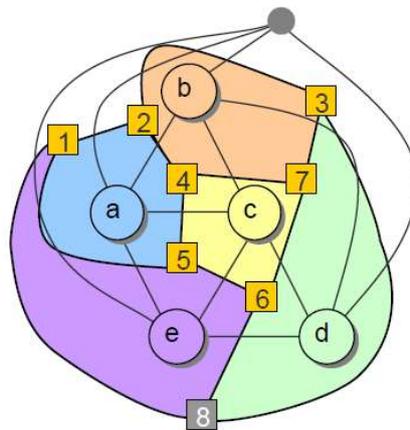


Figura 18. Construcción de un grafo dual. Fuente: Extraído de Santamarina, M. C., Pérez, A. H., Cano, J. J., & Contero, M. (1995). Distribución en planta. Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones.

Tercera etapa: En esta etapa final, se tienen en cuenta los aspectos geométricos del problema, como el área y la forma. A partir del grafo dual, se busca obtener una distribución representada por un diagrama de bloques o layout de bloques (Figura 19). Este proceso no es sistemático y requiere de ajustes continuos de las diferentes soluciones obtenidas a partir del mismo grafo dual. Los algoritmos desarrollados

para esta etapa son menos abundantes que los dirigidos a generar el grafo planar ponderado máximo.

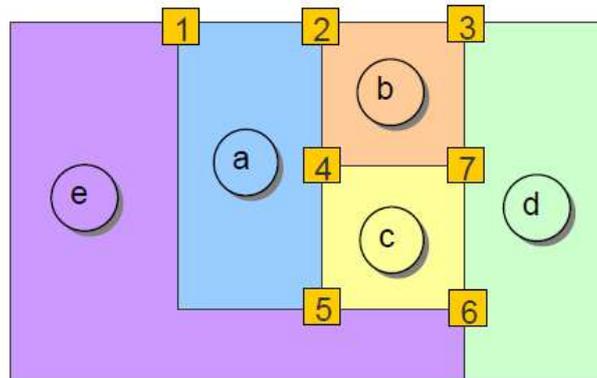


Figura 19. Layout de bloques. Fuente: Extraído de Santamarina, M. C., Pérez, A. H., Cano, J. J., & Contero, M. (1995). Distribución en planta. Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones.

7.5.2 Modelos geométricos

La mayoría de las técnicas de resolución del problema de la distribución en planta emplean este tipo de modelos en la ubicación de las actividades. Estos modelos consideran que las actividades no son entidades adimensionales, sino que tienen una superficie con un área mínima y ciertas restricciones en cuanto a su forma.

Los modelos geométricos pueden ser clasificados como propone González García (et al., 2005), en función de la dimensionalidad del dominio de ubicación. Según esta clasificación los modelos pueden ser unidimensionales, bidimensionales, multiplanta y tridimensionales (Figura 20).

Los modelos **unidimensionales** plantean el problema como la secuencia de las actividades en una única alineación, o en varias líneas paralelas, lo cual corresponde a una disposición que se da con cierta frecuencia en la realidad, y que se corresponde con el caso de aplicación planteado en el presente estudio. Las actividades poseen áreas diferentes y en la evaluación se considera el flujo de materiales entre ellas. Modelos de este estilo son empleados en los estudios de Simmons (1969) y González-Cruz (2001). En el primer caso se utiliza un algoritmo *branch and bound* en la resolución, obviando cualquier tipo de restricción en cuanto a la colocación de determinadas actividades en posiciones concretas.

Como nuestro caso de aplicación consiste en una distribución por producto o en cadena, compuesta por una serie de actividades simultáneas del sistema productivo

y dotada de varias líneas paralelas, este será el modelo teórico empleado en el presente estudio.

Los modelos **bidimensionales** son aquellos en los que el dominio de ubicación sobre el que se sitúan las actividades en una única superficie. Cada actividad posee unas dimensiones específicas y se les asigna un área mínima dentro del dominio de ubicación, teniendo en cuenta restricciones de forma y proximidad.

El modelo **multiplanta** considera varias superficies a diferentes niveles, como pisos de un edificio. Algunos métodos de esta categoría son adaptaciones a modelos bidimensionales, que poseen una fase previa de selección de planta para cada actividad. Otros métodos permiten que las actividades cambien de planta según la ejecución del algoritmo.

En último lugar encontramos los modelos **tridimensionales** que consideran el dominio de ubicación como tridimensional, por ello, cada actividad se representa como una entidad que ocupa un volumen determinado en el espacio.

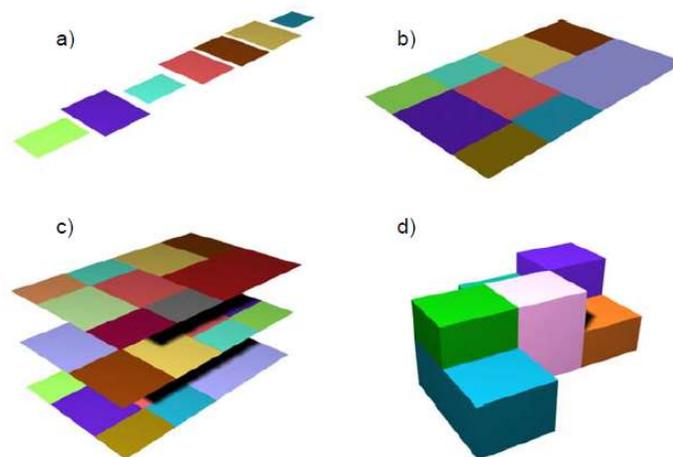


Figura 20. Modelos geométricos (a) unidimensionales, (b) bidimensionales, (c) multiplanta y (d) tridimensionales. Fuente:

https://unavdocs.files.wordpress.com/2010/10/diego_mas_distribucion_en_planta.pdf

7.5.3 Modelos analíticos

Los modelos analíticos son aquellos que posicionan las actividades en un dominio utilizando un sistema de coordenadas predefinido. Estos modelos suelen representar las actividades como formas rectangulares o cuadradas definidas por su ancho y su alto. La ubicación de una actividad específica se define mediante las coordenadas de su centro de gravedad, con respecto a los ejes del sistema de referencia. La distancia entre actividades se mide normalmente entre dichos centros

de gravedad. En la Figura 21 podemos observar un planteamiento de modelos analíticos en función de la distancia entre los centros de gravedad de las actividades.

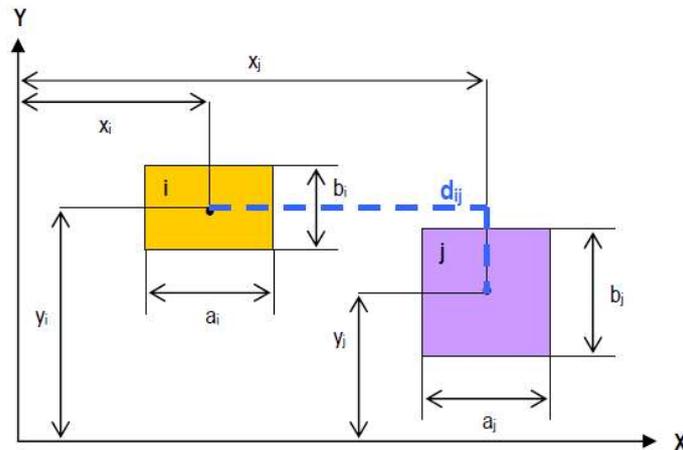


Figura 21. Aplicación de Modelos analíticos en función de la distancia entre centros de gravedad.
Fuente: Extraído de Santamarina, M. C., Pérez, A. H., Cano, J. J., & Contero, M. (1995). Distribución en planta. Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Pu

El objetivo de aplicar un algoritmo de optimización en estos modelos es para obtener la ubicación óptima de las actividades, en función de los criterios utilizados. Estos criterios pueden ser cuantitativos, cualitativos, o una combinación de ambos. En cualquier caso, siempre deben cumplirse una serie de condiciones para que la solución obtenida sea considerada como válida: **condición de no superposición**, la cual asegura que no haya solapamientos entre las áreas designadas para cada actividad, a través de ciertas restricciones geométricas establecidas según expresiones matemáticas; **condición de pertenencia al dominio**, en algunos casos de aplicación no se define un dominio de ubicación como tal, pero en aquellos que sí, al tener en cuenta aspectos como las dimensiones de un área determinada y una geometría conocida, por ello esta condición a su vez establecida mediante expresiones matemáticas asegurará que las actividades pertenezcan al dominio.

En conclusión, para el presente estudio teórico de la distribución en planta de una ITV, plantearemos el diagrama relacional de actividades derivado del Systematic Layout Planning establecido por Muther, y más concretamente, a través de un modelo geométrico unidimensional, debido a la naturaleza de nuestro caso de aplicación. No obstante, en futuros Trabajos de Fin de Grado se podría realizar este mismo estudio mediante la aplicación de modelos analíticos, que calculen la distancia necesaria entre actividades, calculando las dimensiones de estas a través de sus propios centros de gravedad.

8 DESEMPEÑO DEL TRABAJO

8.1 OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es el de crear una Inspección Técnica de Vehículos (ITV) para la Industria 4.0, a modo de crear un espacio interactivo que pueda ser observado mediante tecnologías de Realidad Virtual, donde se pueda manipular la distribución en planta de las maquinarias que lo conforman, con el fin de investigar si modificando su ubicación se puede optimizar el proceso productivo.

8.2 MODELO DE NEGOCIO

Con el fin de poder extrapolar los resultados y conclusiones a la realidad y a modelos de negocio más complejos, se ha optado por crear un modelo de Realidad Virtual de una Inspección Técnica de Vehículos (ITV), al ser un caso sencillo al tratarse de un sistema de producción lineal conformado por un escaso número de máquinas y departamentos.

Es importante nombrar el procedimiento a seguir por este modelo de negocio en lo que respecta a los tipos de vehículos que atravesarán las líneas de producción. Por ello es vital nombrar las normativas y legislaciones vigentes que regulan todos los aspectos relacionados con este modelo de negocio:

- Real decreto 2042/1994, de 14 de octubre. Se trata del decreto que establece las condiciones técnicas y administrativas de las estaciones de ITV, así como los requisitos que deben cumplir los vehículos para superar la inspección.
- Orden PRE/1924/2018, de 6 de diciembre, por la que se aprueba el Manual de Procedimiento de Inspección de las Estaciones ITV, también denominado como "MINER". En esta orden se establecen los procedimientos y criterios técnicos que se deben seguir en las estaciones de ITV, para realizar las inspecciones de forma uniforme y objetiva. Este manual ha sido el más utilizado para el caso de aplicación, al proporcionar la información relativa al procedimiento a seguir en las distribuciones en cadena o serie de nuestro proceso productivo industrial.
- Orden PRE/1282/2007, de 10 de mayo, por la que se regula el control metrológico del estado de los equipos utilizados en las ITV. Esta orden establece los requisitos y procedimientos que garanticen la precisión y fiabilidad de los equipos de medición utilizados en las estaciones ITV.

El Manual de Procedimiento de Inspección de las Estaciones de ITV, establece una clasificación de los vehículos en diferentes categorías, para determinar los criterios de inspección y los procedimientos específicos a seguir en cada caso, lo cual ha sido de gran utilidad para comprender que vehículos necesitan líneas de producción independientes y cuáles pueden ser agrupadas, de forma que se optimice nuestro proceso productivo. Las categorías nombradas anteriormente se agrupan según el siguiente criterio:

- **Categoría M:** Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el transporte de personas y equipaje.
- **Categoría N:** Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el transporte de mercancías.
- **Categoría O:** Remolques concebidos y fabricados para el transporte de mercancías o de personas, así como para alojar personas.
- **Categoría L:** Vehículos de motor de dos, tres y cuatro ruedas, así como a los ciclos de motor, los ciclomotores de dos o tres ruedas, las motocicletas de dos o tres ruedas, motocicletas con sidecar, cuadriciclos ligeros o pesados para carreteras, y cuatrimóviles ligeros y pesado.
- **Categoría T:** Todo vehículo agrícola o forestal de ruedas u orugas, con dos ejes al menos y una velocidad máxima de fabricación igual o superior a 6 km/h, cuya función resida fundamentalmente en su potencia de tracción y que esté especialmente concebido para arrastrar, empujar, transportar y accionar determinados equipos intercambiables destinados a usos agrícolas o forestales, o arrastrar remolques agrícolas o forestales; puede ser adaptado para transportar cargas en faenas agrícolas o forestales y estar equipado con uno o varios asientos de pasajeros.
- **Categoría R:** Todo vehículo agrícola o forestal destinado principalmente a ser remolcado por un tractor y destinado principalmente para transportar cargas o tratamiento de materias, y que la relación entre la masa máxima de carga y la masa en vacío de dicho vehículo sea igual o superior a 3,0.
- **Categoría S:** Equipos intercambiables remolcados: Todo vehículo utilizado con fines agrícolas o forestales que esté diseñado para ser remolcado por un tractor y que modifique la función de este o le añada una función nueva, que cuente permanentemente con un apero o esté diseñado para el tratamiento de materias, y que puede incluir una plataforma de carga diseñada y fabricada tanto para albergar los aperos y dispositivos necesarios a dicho efecto, como para almacenar temporalmente las materias producidas o necesarias durante el trabajo, y en el que la relación entre la masa total en carga técnicamente admisible y la masa en vacío de dicho vehículo sea inferior a 3,0.

A pesar de existir todas estas categorías en el Manual de Procedimiento de Inspección de Estaciones ITV, es importante comentar que los vehículos con características muy específicas recogidos en las categorías especiales nombradas en últimos lugares no son de aplicación para las estaciones de ITV convencionales, pues requieren que las inspecciones se realicen en estaciones especializadas que

posean maquinaria específica. Por ello no se estudiarán en el presente caso de aplicación, que comprenderá una ITV convencional, las cuales se ven sometidas a mayores flujos de vehículos debido al contexto de que por lo normal, los núcleos familiares suelen poseer al menos un turismo o motocicleta.

Por tanto, y tal y como se recoge en el manual anteriormente descrito, la inspección de los vehículos con categorías M, N y O, sigue el mismo procedimiento, luego también seguirá las mismas cadenas o líneas de inspección. Los vehículos L, siguen estas líneas de inspección, pero no requieren del uso de toda la maquinaria de la misma, sino que influyen en gran parte trabajos de inspección visual por parte de los propios operarios.

8.3 EDIFICIOS Y MAQUINARIA EMPLEADOS

El presente estudio está enfocado en las estaciones de ITV ubicadas en específico en la comunidad autónoma de las Islas Canarias, a modo de crear un punto de partida que sea escalable a nivel nacional. Para tener un mayor conocimiento del funcionamiento de las mismas en esta ubicación concreta, incluyendo información como los departamentos que las conforman y las maquinarias utilizadas en cada área de trabajo, se ha acudido a una estación ITV localizada en el Polígono Industrial de San Jerónimo, ubicada en la zona norte de la isla de Tenerife. Tras una serie de conversaciones mantenidas tanto con los operarios como con los ingenieros de esta, se han diferenciado cuatro áreas principales de trabajo. A continuación, se detallan estas cuatro áreas que presentan maquinaria pesada, acompañadas de una breve explicación del funcionamiento de estas:

Área eléctrica y de iluminación

- Regloscopio.

Se trata de un instrumento de medición utilizado para verificar y ajustar la alineación, intensidad y patrón de los haces de luz emitidos por los faros delanteros de un vehículo (Figura 22).



Figura 22. Regloscopio. Fuente: https://www.ryme.com/wp-content/uploads/Descargas/Catalogo-Ryme-2021-%20ESP_compressed.pdf

Área de emisiones

- Opacímetro.

Dispositivo utilizado para medir la opacidad de los gases de escape de los motores diésel en vehículos (Figura 23). Su función principal es la de evaluar la calidad de combustión y la cantidad de partículas emitidas por el vehículo. Se utiliza principalmente en motores diésel debido a que como sabemos, la combustión se lleva a cabo mediante la inyección directa del combustible en el cilindro, lo que puede generar un mayor volumen de partículas y hollín en los gases de escape.



Figura 23. Opacímetro. Fuente: https://www.ryme.com/wp-content/uploads/Descargas/Catalogo-Ryme-2021-%20ESP_compressed.pdf

- Analizador de gases.

Se trata del dispositivo utilizado para la medición y el análisis de la composición de los gases de escape de los motores de combustión interna (Figura 24). Se utiliza principalmente en motores de gasolina puesto que se basa en principios de química y espectroscopia realizando mediciones de los componentes presentes en los gases de escape, como CO₂, CO, NO_x, HC y O₂.



Figura 24. Analizador de gases. Fuente: https://www.ryme.com/wp-content/uploads/Descargas/Catalogo-Ryme-2021-%20ESP_compressed.pdf

Es importante comentar, que en las estaciones de ITV, estos dos dispositivos se tratan como una única máquina agrupada. Luego para la realización del estudio de la distribución en planta en nuestro caso de aplicación, también lo será.

Área de dirección y neumáticos

- Detector de Holguras.

Dispositivo cuya función es detectar y medir las holguras o espacios que puedan existir entre las distintas partes de un vehículo, como el chasis, la carrocería, los ejes y las ruedas, entre otros componentes, ocasionadas por desgastes, desalineaciones, daños o problemas estructurales (Figura 25). Principalmente se engloban en tres tipos, aquellos que emiten sondas, los que utilizan sensores de desplazamiento o un haz de luz laser, y los de vibraciones.

En este caso de aplicación, a través del catálogo del proveedor RYME, fabricante de maquinaria para estaciones ITV, se ha optado por escoger un detector de holguras de cuatro placas, ya que posibilita realizar la prueba realizando una única comprobación, lo que se traduce en optimizar el tiempo y garantizar la velocidad del flujo material. Estas placas utilizan un movimiento longitudinal y transversal en todas las placas para la comprobación de holguras.

Además, estos dispositivos están provistos de un foso subterráneo que permite a los técnicos acceder física y visualmente a la parte inferior del vehículo para inspeccionar el estado de los componentes y las posibles anomalías detectadas por el dispositivo.

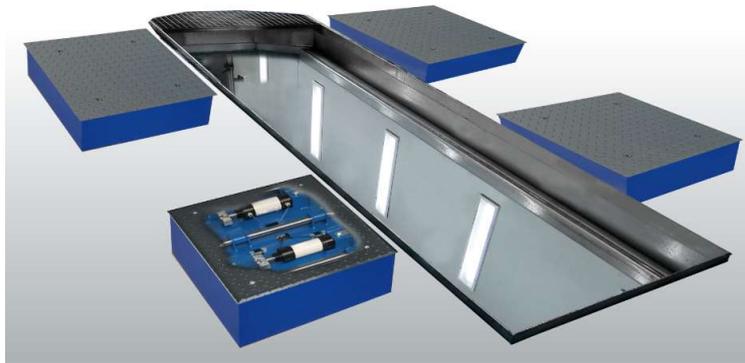


Figura 25. Detector de Holguras. Fuente: https://www.ryme.com/wp-content/uploads/Descargas/Catalogo-Ryme-2021-%20ESP_compressed.pdf

Área de frenos y chasis

- Frenómetro.

Se trata del dispositivo utilizado para evaluar el rendimiento y la eficiencia del sistema de frenos de un vehículo (Figura 26). A través de la aplicación de presión al sistema de frenos del vehículo mientras está detenido, se registra la fuerza de frenado, la distancia de frenado y la presión, entre otros parámetros relacionados con el rendimiento del sistema de frenos. Posee un ordenador que se ocupa de controlar el sistema de medición y el funcionamiento de la máquina.



Figura 26. Frenómetro. Fuente: https://www.ryme.com/wp-content/uploads/Descargas/Catalogo-Ryme-2021-%20ESP_compressed.pdf

8.3.1 Diagrama relacional de actividades.

Además de estas áreas técnicas, una estación ITV ha de poseer una actividad de recepción donde se realiza el cobro y la inspección de los documentos del vehículo; una zona de espera de entrada a las líneas de producción; una zona de salida de estas; y un vestuario provisto de unas instalaciones de aseo para el uso de los técnicos.

Por ello, se establece que las actividades registradas en este proceso productivo de distribución en cadena, para el presente estudio, serán ocho. Sin embargo, como todas las áreas técnicas de inspección deben estar próximas entre sí y como debemos cumplir que las líneas entre actividades no se superpongan, se elaborarán dos diagramas relacionales de actividades. El primer caso, estará conformado por propias actividades de inspección técnica, y el segundo considerando estas actividades como una única que se relacione con las nombradas en el párrafo anterior. De esta manera, se puede aplicar el Systematic Layout Planning planteado por Muther.

Para ello se debe crear una escala de valores para la proximidad de las actividades, la cual quedará indicada por las letras A, E, I, O, U. El significado de estas se recoge en la tabla 4.

	Color y tipo de línea	Relación
A	4 Líneas verdes	Absolutamente necesaria
E	3 Líneas naranjas	Especialmente importante
I	2 Líneas azules	Importante
O	1 Línea negra	Ordinaria
U	Sin línea	Sin importancia

Tabla 4. Escala de valores para la creación de un diagrama relacional de actividades y/o recorridos.

Primer caso

En primer lugar, definiremos las actividades que tendrá nuestra estación de Inspección Técnica de Vehículos, valorando como actividades únicamente aquellas en las que influye la maquinaria pesada de inspección. Estas actividades están recogidas en la Tabla 5 adjunta a continuación.

Número	Actividad
Actividad 1	Área eléctrica y de iluminación
Actividad 2	Área de emisiones
Actividad 3	Área de dirección y neumáticos
Actividad 4	Área de frenos y chasis

Tabla 5. Actividades y áreas de las líneas de inspección de la estación ITV.

La tabla relacional de actividades (Tabla 6) será la siguiente:

	Actividad 1	Actividad 2	Actividad 3	Actividad 4
Actividad 1	-	A	A	A
Actividad 2		-	A	A
Actividad 3			-	A
Actividad 4				-

Tabla 6. Tabla relacional de actividades de las líneas de inspección de la estación ITV.

El diagrama relacional de actividades (Figura 27) será el siguiente:

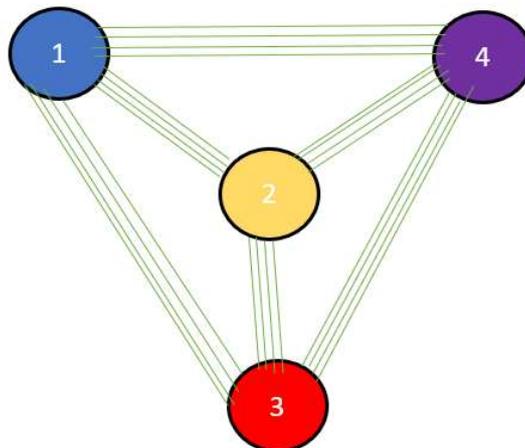


Figura 27. Diagrama relacional de actividades para las líneas de inspección de la estación ITV.
Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar, todas estas actividades deben estar próximas bajo cualquier circunstancia para que el proceso productivo sea óptimo, por tanto, podremos variar la ubicación de estas áreas de trabajo sin influir en la cadena de producción, al menos como una primera hipótesis. No obstante, en el apartado final “Conclusiones” de este capítulo se tratará el caso en mayor profundidad, una vez observado el entorno de Realidad Virtual, y se valorarán opciones que puedan mejorar el rendimiento de esta distribución productiva en cadena.

Segundo caso

En segundo lugar, definiremos las actividades que tendrá nuestra estación de Inspección Técnica de Vehículos, valorando las actividades de inspección como una única global, para poder relacionarla con el resto de las actividades presentes en una estación ITV (Tabla 7).

Número	Actividad
Actividad 1	Recepción
Actividad 2	Espera de entrada
Actividad 3 (3 Líneas de Inspección)	Área eléctrica y de iluminación Área de emisiones Área de dirección y neumáticos Área de frenos y chasis
Actividad 4	Vestuario y Aseos
Actividad 5	Espera de salida

Tabla 7. Actividades de la estación ITV.

La tabla relacional de actividades (Tabla 8) será la siguiente:

	Actividad 1	Actividad 2	Actividad 3	Actividad 4	Actividad 5
Actividad 1	-	A	E	U	U
Actividad 2		-	E	U	U
Actividad 3			-	I	O
Actividad 4				-	U
Actividad 5					-

Tabla 8. Tabla relacional de actividades de la estación ITV.

El diagrama relacional de actividades (Figura 28) será el siguiente:

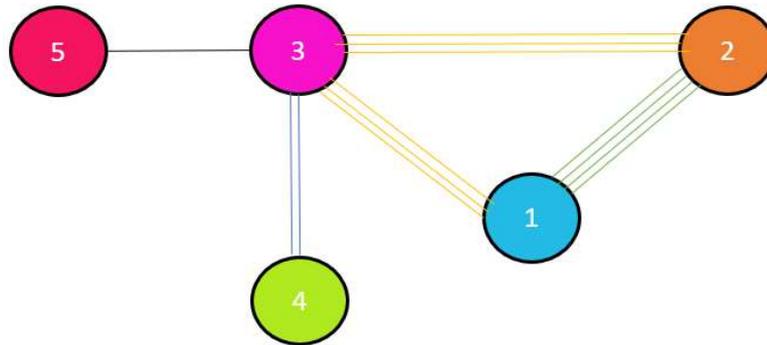


Figura 28. Diagrama relacional de actividades de la estación ITV. Fuente: Elaboración propia.

8.4 METODOLOGÍA

El presente estudio de una estación ITV, se ha desarrollado en las siguientes fases:

1. Aprendizaje de Unreal Engine.

Para la creación del entorno virtual inmersivo, se ha utilizado el software computacional de Unreal Engine (UE). Se trata un motor de juego desarrollado por Epic Games que se utiliza para crear videojuegos, experiencias virtuales y aplicaciones interactivas en una gran variedad de plataformas digitales. Se trata de un motor gráfico de gran renombre gracias a su capacidad para crear gráficos de alta calidad y efectos especiales. En el sector de la industria se utiliza comúnmente para crear aplicaciones de entrenamiento, simulación y visualización arquitectónica entre muchas otras.

Para poder confeccionar este entorno virtual, ha sido de vital importancia el aprendizaje de este software mediante distintos canales de información, ya sean vídeos-tutoriales, manuales PDF y distintas páginas web, tanto de los propios desarrolladores del software, como de diversas fuentes de información externas. Gracias a estos medios se han obtenido nociones básicas de cómo utilizar el software de Unreal Engine para la creación de nuestro entorno virtual interactivo.

2. Modelado 3D de los entornos virtuales.

El software de Unreal Engine es compatible con varios formatos de archivos 3D, especialmente "FBX" y "USD" (Datasmith). Estos formatos se utilizan para importar modelos 3D de softwares CAD externos a Unreal Engine y poder optimizarlos.

FBX es un formato de archivo 3D utilizado comúnmente en la industria de los videojuegos, de la animación y de la ingeniería. Mientras que Datasmith es un formato de intercambio de datos que permite importar modelos 3D a Unreal Engine de la manera eficiente y precisa. Para poder utilizar estos formatos primero se debe exportar el modelo 3D desde un software de modelado externo tales como Sketchup, AutoCAD o SolidWorks a el formato Datasmith. Este último formato de archivo ha sido el más adecuado para nuestro caso de aplicación.

3. Texturizado.

Los ficheros anteriormente nombrados, cuya procedencia derivaba de otros softwares, no poseían una calidad suficiente de texturas en sus elementos. Por tanto, se tuvo que dotar de un suficiente grado de inmersión el entorno virtual y por ende la experiencia del usuario, para rectificar el problema que impedía a este sumergirse en una experiencia lo suficientemente pareja a la realidad. Para ello, se han utilizado las herramientas de texturizado de UE, tanto aquellas que vienen por defecto en el programa, como el uso de un programa compatible al mismo creado por los mismos desarrolladores, llamado Quise Bridge.

Quixel Bridge es un software compatible con UE, que permite a los usuarios acceder a una amplia librería de assets predefinidos, incluyendo modelos 3D, texturas y otros recursos. Estos assets son creados mediante Quixel Megascans, una biblioteca de activos escaneados en 3D, que incluyen materiales y texturas basados en la realidad.

El proceso de texturizado se realizó mediante la modificación de los materiales presentes en UE y en Quixel, que computacionalmente, son un conjunto de texturas, shaders y otros parámetros que nos devuelven información de la apariencia de un objeto. El sistema de materiales de UE se basa en nodos, permitiendo crear materiales mediante la conexión de diferentes nodos de texturas y shaders en una red visual. Algunos de los parámetros generales de texturizado que se pueden ajustar en Unreal Engine mediante la conexión de nodos son los siguientes:

- Difusa: Se trata de la textura principal del objeto que define su apariencia base.
- Especular: Define la reflectividad de la superficie del objeto.
- Normal: Permite crear la ilusión de profundidad y relieve en la superficie del objeto.
- Áspera: Define la suavidad o rugosidad de la superficie del objeto.
- Emissive: Permite que la superficie del objeto emita luz.

4. Entorno RV.

El entorno de Realidad Virtual necesita la incorporación de diversas herramientas de creación y diseño, tanto para su correcto funcionamiento como para dotar al entorno creado de una gran experiencia de inmersión.

A modo de explicación general sobre la creación de estos entornos, encontramos ciertos elementos genéricos:

- **Editor de niveles:** El editor de niveles es la herramienta principal utilizada para crear entornos virtuales en Unreal Engine. Nos permite construir niveles de juego, colocar objetos, configurar la iluminación y los efectos especiales.
- **Materiales:** Los materiales son un componente clave en la creación de los entornos virtuales, pues permiten la creación de texturas y shaders complejos que se aplican a los objetos en el entorno del juego.
- **Efectos especiales:** Unreal Engine posee una amplia variedad de efectos especiales como partículas, humo, niebla y fuego, que pueden utilizarse para crear ambientes realistas y envolventes.
- **Físicas:** Las herramientas de físicas permiten al desarrollador a crear objetos con comportamientos físicos realistas, como la fuerza de la gravedad, colisiones entre los objetos y movimientos de éstos.

5. Interacciones.

Dentro del entorno de RV de UE, las interacciones entre elementos se realizan mediante la utilización de los denominados Blueprints. Los Blueprints son una herramienta de programación visual e interactiva que permite a los desarrolladores crear comportamientos y lógicas complejas para las experiencias de RV sin necesidad de escribir funciones o códigos. Aunque este software permite al usuario también que las interacciones se puedan desarrollar utilizando el lenguaje de programación de Python.

Para la creación de este entorno virtual, y por ser más intuitivo y fácil de aprender se ha decidido optar por la utilización de Blueprints, cuya funcionamiento se basa en una serie de nodos que se conectan para crear una cadena de eventos o acciones que se activan cuando ocurre una interacción en el entorno virtual.

8.5 DESARROLLO

A continuación, se explicarán en mayor detenimiento los puntos anteriormente descritos para entender tanto el funcionamiento del software como la creación de nuestro entorno virtual profundizando en el modelado, el texturizado y la programación de este.

8.5.1 Aprendizaje de Unreal Engine.

Para afrontar la creación de un entorno virtual cuya experiencia sea inmersiva para el jugador, ha sido necesario la formación en el uso de este software inicialmente desconocido a través de diversos manuales y foros desde la propia empresa desarrolladora “Epic Games”, videotutoriales de YouTube y otros canales de información.

Con el fin de entender cómo se utiliza este software se detalla a continuación una explicación minuciosa del contenido y funcionamiento de cada una de las ventanas presentes en el programa:

- Editor de contenido (Content Drawer)

La ventana “Content Drawer” (Figura 29) es una herramienta que proporciona una interfaz gráfica que permite la gestión y organización de todos los activos presentes en el proyecto. Se trata de un componente vital en la plataforma de desarrollo del proyecto pues proporciona al usuario una estructura organizada y eficiente para la creación de entornos virtuales.

Esta ventana permite a los desarrolladores tener acceso a todos los activos del proyecto, ya sean modelos 3D, texturas, materiales, animaciones, efectos de sonido, mapas y cualquier otro tipo de contenido. Además, posee una estructura de árbol que se expande a medida que se agregan nuevos activos al proyecto.

Una de las herramientas más destacables que proporciona esta ventana es la de editar los activos, permitiendo realizar cambios rápidos de los mismos sin necesidad de abrir el editor de contenido completo, ya sean aquellos como edición, renombrado, duplicado, eliminación, búsqueda y administración de los activos seleccionados.

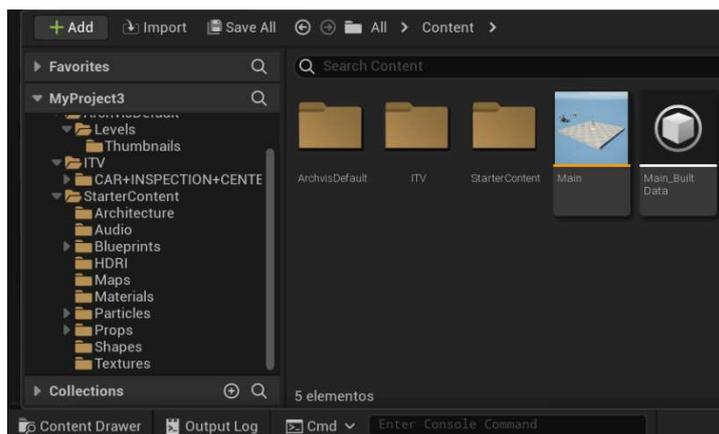


Figura 29. Ventana Content Drawer. Fuente: Elaboración propia.

- Ventana “Place Actors”

La ventana “Place Actors” (Figura 30) es una herramienta que permite colocar objetos y elementos en el nivel de forma rápida y sencilla, en esta ventana se proporcionan una lista de los objetos predefinidos que pueden ser arrastrados y colocados en el nivel. Entre los objetos y elementos que se pueden añadir se encuentran algunos como personajes, objetos de decoración, elementos de iluminación y cámaras, entre muchos otros.

Para la realización de este entorno virtual se han utilizado principalmente los elementos básicos de la ventana, a continuación se detalla el funcionamiento de cada uno de ellos para fines industriales enfocados en RV:

- **Actor:** En un entorno virtual, los actores pueden representar elementos como maquinaria, equipos, herramientas o componentes de una instalación industrial. Estos actores pueden ser modelos 3D precisos y detallados que permiten a los usuarios interactuar y comprender mejor los diferentes componentes de un entorno de trabajo específico.
- **Character:** Se utiliza para añadir personajes al nivel, estos tienen propiedades específicas que pueden personalizarse, tales como su velocidad, salud y resistencia. Además se pueden crear animaciones personalizadas controladas por una inteligencia artificial programada que controle sus movimientos y acciones.

En un contexto industrial, los personajes pueden ser representados como trabajadores industriales o personal involucrado en las operaciones dentro del entorno virtual. Estos personajes pueden tener

animaciones realistas y comportamientos que reflejen las acciones y movimientos típicos de los trabajadores en un entorno industrial. También se puede permitir la interacción con herramientas o equipos virtuales dentro del entorno.

- **Pawn:** Este componente se utiliza para añadir peones al nivel, es decir, personajes controlados por IA, la cual es capaz de programar sus movimientos y acciones. Para fines industriales, estos se pueden representar como máquinas automatizadas, robots o vehículos industriales controlados por esta IA. De esta manera se podrían simular sus comportamientos y movimientos precisos, brindando una representación virtual realista de los sistemas y procesos industriales.
- **Luz puntual:** Se utiliza para añadir puntos de luz al nivel, los cuales emiten luz desde un solo punto en todas las direcciones, permitiendo variar sus propiedades específicas como intensidad, color, atenuación y dirección de emisión del luz. En nuestro caso de aplicación, son útiles para iluminar adecuadamente el entorno virtual industrial, simulando fuentes de luz artificiales, como luces de techo o focos industriales, dotando a nuestro entorno de un alto grado de inmersión.
- **Salida del jugador (Player Start):** Representa el punto de inicio de inicio del jugador desde donde el usuario inicia la experiencia. Puede ser una ubicación estratégica dentro del entorno de trabajo virtual, como un punto de acceso o una posición segura dentro de la instalación industrial. Es el punto de partida para comenzar a explorar y participar en las actividades virtuales.
- **Caja del disparador:** Este componente se utiliza para añadir una caja de colisión que desencadena una acción cuando el jugador entra o sale de ella, por ejemplo, puede desencadenar una animación de maquinaria en funcionamiento, activar un proceso de producción o proporcionar información contextual relevante al interactuar con ella.
- **Esfera del disparador:** Al igual que la caja del disparador, las esferas de activación pueden usarse para delimitar áreas específicas de activación.

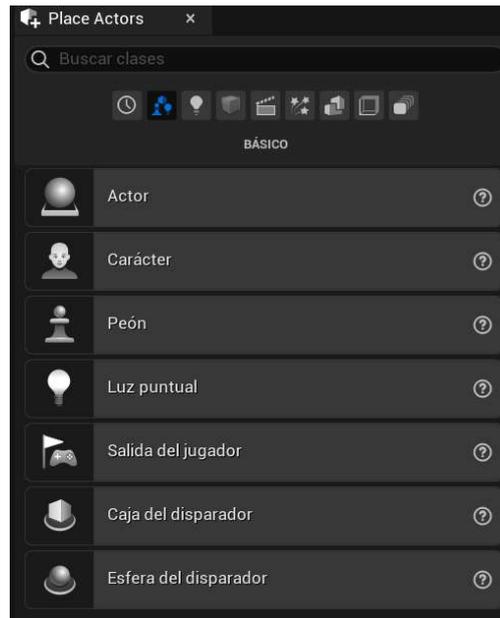


Figura 30. Ventana Place Actors. Fuente: Elaboración propia.

- Outliner

Esta ventana es una herramienta que proporciona una lista jerárquica de todos los objetos y elementos presentes en el nivel, como se puede apreciar en la Figura 31. Proporciona una vista estructurada de la escena, que permite organizar, filtrar, seleccionar y manipular los elementos de una manera más eficiente. Además dota al usuario de la posibilidad de modificar la programación que llevan algunos de ellos detrás a través del uso de los anteriormente nombrados blueprints facilitando el acceso a la ventana de modificación de estos.

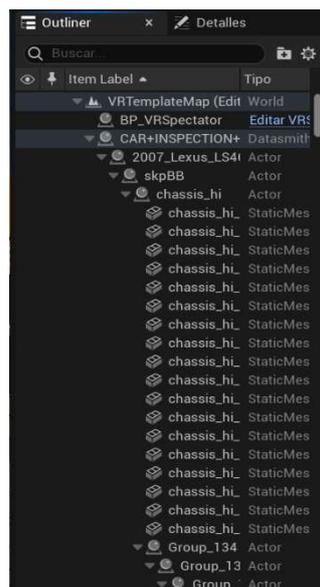


Figura 31. Ventana Outliner. Fuente: Elaboración propia.

- Details

La ventana detalles o details en inglés (Figura 32), es probablemente la más destacable y de mayor uso durante la creación de un entorno virtual, puesto que proporciona información específica de un objeto y permite realizar cambios en su configuración y su comportamiento. Cada componente de esta ventana se enfoca en un aspecto específico del objeto como pueden ser su ubicación, rotación, escala, apariencia, propiedades físicas, de animación y de sonido, entre otros. Estos comportamientos se pueden ajustar en tiempo real según nuestras necesidades para personalizar el comportamiento y la apariencia del objeto. A continuación se describen algunos de los componentes más comunes que se pueden encontrar en la misma:

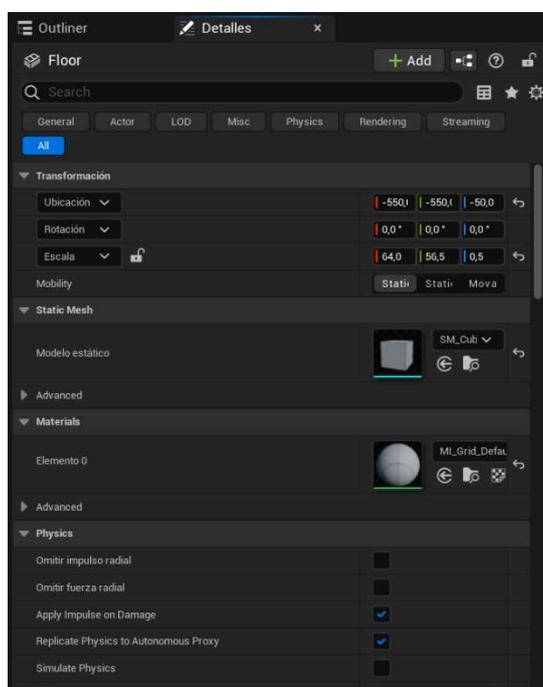


Figura 32. Ventana Detalles. Fuente: Elaboración propia.

- **Transform:** Se trata del componente que nos devuelve la información relativa a la ubicación, rotación y escala del objeto seleccionado y que nos permite modificar estos valores.
- **Static Mesh:** Este componente muestra información sobre el modelo 3D utilizado y permite ajustar propiedades específicas del mismo como materiales, texturas, opacidad y la propia iluminación o reflejos que puede emitir un objeto.
- **Light:** Este componente se utiliza para ajustar las propiedades relativas a los “actores” de iluminación, ya sean la luz, el color, la intensidad, la

luz del entorno en general, la luz generada por el cielo, la dirección del sol y la proyección de las sombras.

- **Physics:** Gracias a este componente se ajustan las propiedades físicas del objeto seleccionado, como su masa, fricción con otros elementos del nivel, la fuerza debida a la acción de la gravedad, las colisiones entre elementos y si dicho objeto puede ser dañado por la interacción con otros. De esta manera nuestro entorno virtual creado se puede asemejar en gran escala a la realidad.
- **Animation:** Es el componente utilizado para ajustar las propiedades de las animaciones que se pueden crear, enfocándose en parámetros como la velocidad, la dirección que seguirá un objeto en un determinado recorrido de la animación y la duración de la misma.
- **Sound:** Se trata del componente utilizado para ajustar las propiedades acústicas del nivel creado, tales como la ganancia del sonido, la dirección de este y su fuente de difusión.
- **Nav Mesh Bounds Volume:** Es un componente de vital importancia a la hora de crear entornos de Realidad Virtual, puesto que es el que nos permite ajustar las propiedades de navegación en el nivel, como la altura y el ancho de los pasillos de navegación, como se explicará más adelante en el apartado “Entorno de RV” es el que nos permitirá entre otros, la movilidad dentro del entorno creado mediante los mandos de los dispositivos Head Mounted Display (HMD).
- **Landscape:** Utilizamos este componente para ajustar las propiedades del terreno del entorno creado, como altura global del terreno, diferencias de cotas entre superficies, tamaño y texturas entre otros. Incluyendo apariencias realistas como las debidas a la erosión del terreno.

8.5.2 Modelado 3D de los entornos virtuales.

A continuación, se detalla el procedimiento seguido para la creación del entorno virtual inmersivo de la estación de Inspección Técnica de Vehículos (ITV).

Elección del modelo a modificar e importación a Unreal Engine

En primer lugar, a través de los Marketplaces existentes en Internet, se ha buscado un modelo 3D que cumpla con los requisitos mínimos necesarios para el caso de aplicación, tales como la existencia de líneas de inspección técnicas; unas dimensiones aceptables que puedan ser ligeramente modificadas según necesidad,

sin tener que escalar de nuevo todos los elementos por separado; y la existencia tanto de un edificio que contenga los distintos departamentos de los técnicos, como de facturación y zonas de espera.

Por ello, tras una minuciosa búsqueda, se ha optado por la descarga de un modelo 3D creado en Sketchup, el cual ha sido modificado en Unreal Engine (UE) dotándolo de un mayor grado de inmersión. En la Figura 33, adjunta a continuación se puede observar el modelo 3D de la nave anteriormente descrita mediante la propia visualización del software Sketchup.



Figura 33. Visualización en Sketchup del modelo 3D de la estación ITV. Fuente:
<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/e0a4e78c-3e6c-44ef-9edb-7d07e1c714f5/CAR-INSPECTION-CENTER-PROJECT?hl=es>

Una vez seleccionado y descargado este modelo, a través del propio software de Sketchup se ha importado el archivo al formato de intercambio de datos “Datasmith” mencionado anteriormente en el punto 8.4 del presente capítulo. Gracias al uso de este formato, se logró importar el modelo al software de Unreal Engine, para poder optimizarlo y programarlo para que sea apto para el uso de dispositivos HMD. De esta manera, todos los elementos creados en el modelo de Sketchup se importaron en UE, siendo este capaz de distinguir entre aquellos que son elementos estructurales, o aquellos que pueden ser tratados como actores.

No obstante, para que el software permita el uso de determinados formatos de archivos como “datasmith”, es fundamental activar una serie de plug-ins específicos existentes dentro de la propia configuración del software de UE, como se puede visualizar en la Figura 34.



Figura 34. Plugins para el uso de formatos Datasmith. Fuente: Elaboración propia.

Plantilla de creación escogida y arreglos estructurales

Dependiendo del uso que le demos a nuestro proyecto, el editor de contenido de UE nos devuelve varios tipos de configuraciones o plantillas de creación. A pesar de que existe una configuración específica enfocada en aplicaciones de VR, con el fin de aprender en profundidad el uso de este programa, y para evitar posibles problemas de compatibilidad entre los dispositivos HMD utilizados y la propia configuración predeterminada de estas plantillas, se optó por utilizar una plantilla en blanco.

La plantilla en blanco proporciona un plano de trabajo sobre el que colocar los archivos importados y una serie de herramientas predefinidas (Figura 35). No obstante, para mejorar el rendimiento del entorno de RV, se decidió borrar todas estas herramientas para utilizar únicamente aquellas que serán necesarias para este caso de aplicación.



Figura 35. Plantilla en blanco con herramientas predefinidas. Fuente: Elaboración propia.

Al insertar el modelo 3D procedente de Sketchup (mediante el formato datasmith mencionado anteriormente), cada elemento individual creado en este programa, como muros, ventanas o vehículos, se agrupó dentro de un mismo actor global, cuyo nombre es el mismo que el del archivo de Sketchup, en este caso “CAR+INSPECTION”, presente en la vista jerárquica de la ventana “Outliner”. Seleccionando cada uno individualmente dentro de esta vista jerárquica, se pudo visualizar cada elemento como un único modelo 3D permitiendo la posibilidad de variar propiedades específicas como su escala, rotación y ubicación entre otras.

Es importante comentar que los modelos 3D de los marketplaces que podemos encontrar en la red, suelen poseer fallos constructivos en lo que refiere al modelado 3D, pues al importar archivos de un programa a otro existen elementos que pueden no ser reconocidos o leídos por UE. Por ello, se tuvo que llevar a cabo un minucioso procedimiento de inspección de todos estos elementos para incluir aquellos que no se habían importado, y modificar aquellos que no se importaron correctamente. Siguiendo este procedimiento de inspección, se observó que elementos como algunas de las ventanas del edificio de espera y cobro carecían de presencia en el entorno, luego hubo que crearlas de nuevo (Figura 36). Además, algunos de los muros de ambos edificios, tanto el de espera y cobro; como el de vestuarios, aseos y despachos de los operarios técnicos, no se importaron en su totalidad, y los muros se presentaban con huecos en su visualización externa (Figura 37) o interna (Figuras 38 y 39). Por ello, gracias a las herramientas de construcción, presentes en la ventana “Place Actors” y más concretamente en su apartado “Construction”, se pudieron rellenar estos huecos de los muros, o crear elementos como placas metálicas galvanizadas de la cubierta (Figura 40).



Figura 36. Arreglos en ventanales exteriores generales. Fuente: Elaboración propia.

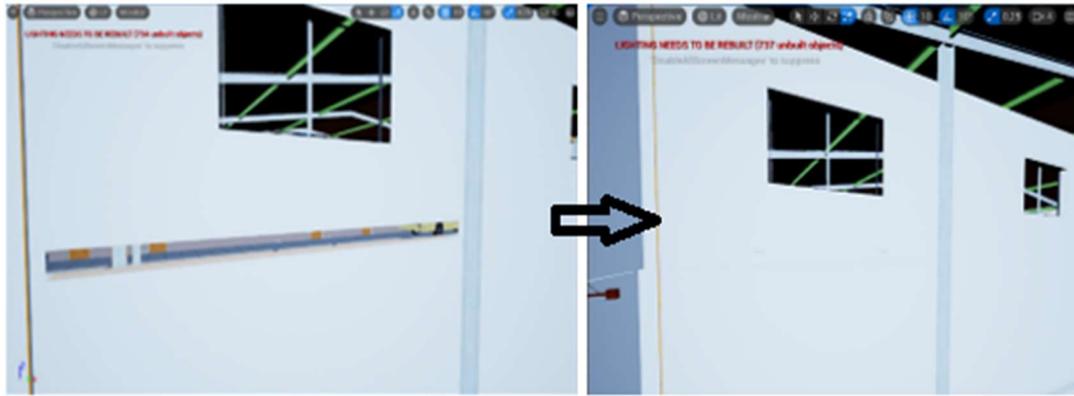


Figura 37. Arreglos estructurales en muros. Fuente: Elaboración propia.

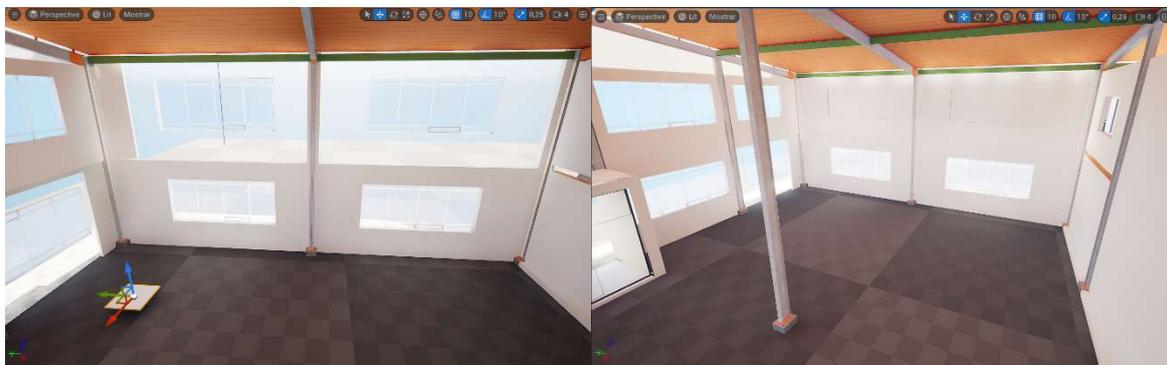


Figura 38. Arreglos estructurales en ventanas superiores interiores. Fuente: Elaboración propia.

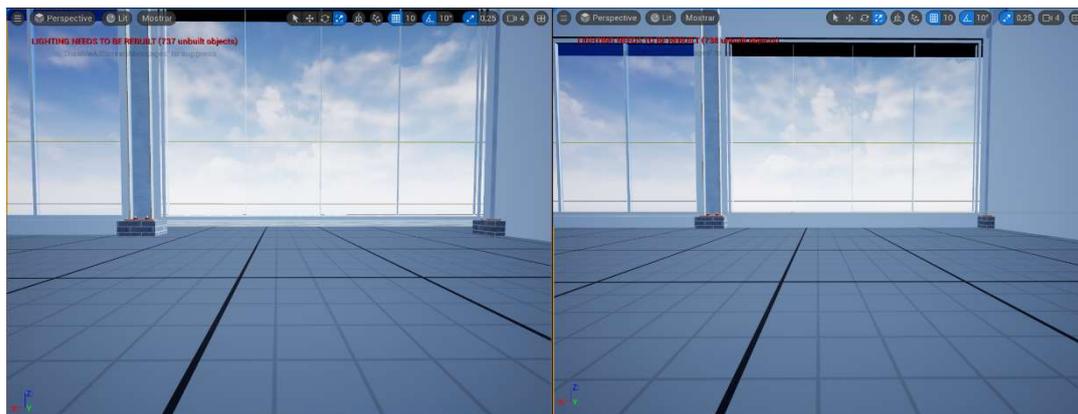


Figura 39. Arreglos estructurales en muros interiores. Fuente: Elaboración propia.

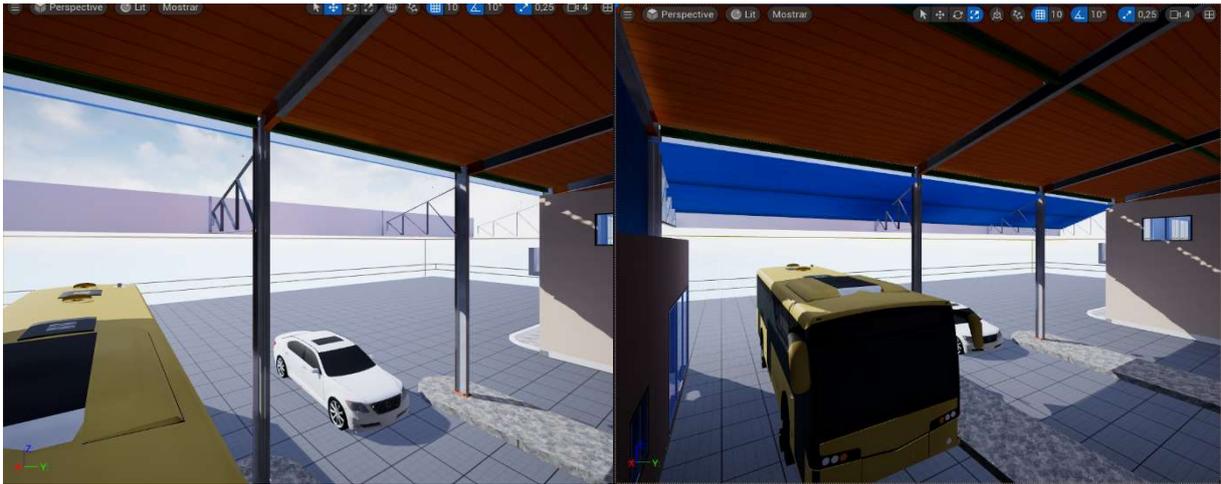


Figura 40. Arreglos en placas de acero galvanizado de la cubierta. Fuente: Elaboración propia.

Modelado de las áreas de inspección

Como se nombró en capítulos anteriores, podemos diferenciar cuatro grandes áreas referentes al procedimiento de inspección de vehículos. El modelo 3D descargado e importado, comprende únicamente las infraestructuras necesarias para la realización de las labores de inspección, careciendo de las propias áreas de trabajo y de los límites de estas, las cuáles son fundamentales para el planteamiento de la distribución en planta. Por este motivo, se tuvieron que crear de cero estas áreas.

A pesar de que se buscaron en Internet distintos marketplaces de softwares de creación de contenido 3D, no se obtuvo en ninguno aquel referente a maquinaria de inspección técnica, como los frenómetros, opacímetros o detectores de holguras anteriormente nombrados, entre otros.

Por este motivo, y para facilitar la redistribución de estas áreas y máquinas de trabajo, estas han sido representadas mediante los actores denominados como “grabbable cubes” de UE. Estos actores se presentan como cubos a los cuáles se les pueden modificar sus dimensiones, y que poseen como principal característica, la posibilidad de que el usuario la incorpore unos componentes de agarre desde la propia ventana de programación mediante la utilización de Blueprints. La programación de esta interacción de agarre, al igual que del resto de componentes de programación, se explicará en mayor detenimiento en apartados posteriores.

Es importante recordar, que el Área de neumáticos y chasis de una estación ITV posee como máquina principal el conocido como Detector de Holguras, el cual está provisto de un foso que permite la inspección visual por parte de los técnicos de los elementos de las zonas inferiores del vehículo. El entorno virtual creado, y más concretamente su modelado 3D, objeto del presente apartado, ha comprendido este aspecto y por ello se ha procedido a la creación de dicho foso.

Haciendo uso de “Geometry” dentro de la ventana “Place Actors”, nombrada con anterioridad, se permite la incorporación de actores de distintas geometrías, que pueden ser aditivos o sustractivos. Para el arreglo de las infraestructuras mal importadas a UE nombradas anteriormente, los actores se consideraron como aditivos, puesto que añadíamos elementos a nuestro modelo. Por otro lado, para la creación de estos fosos, se han utilizado cubos tridimensionales con características sustractivas, de esta manera se crearon los fosos de inspección de los detectores de holguras Figura 41, y dentro de ellos se incorporaron escaleras para el acceso a estos fosos, con un carácter aditivo Figura 42.

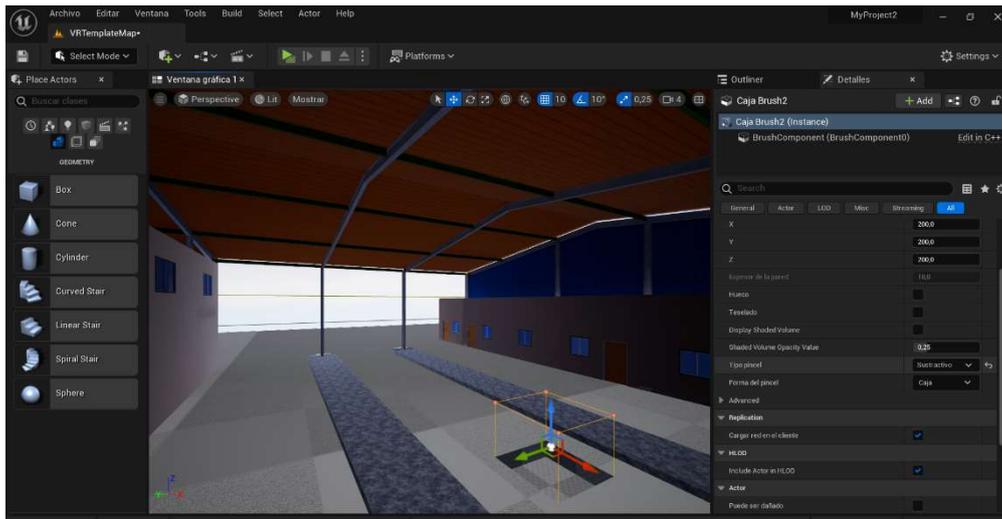


Figura 41. Modelado de los fosos de los detectores de holguras. Fuente: Elaboración propia.

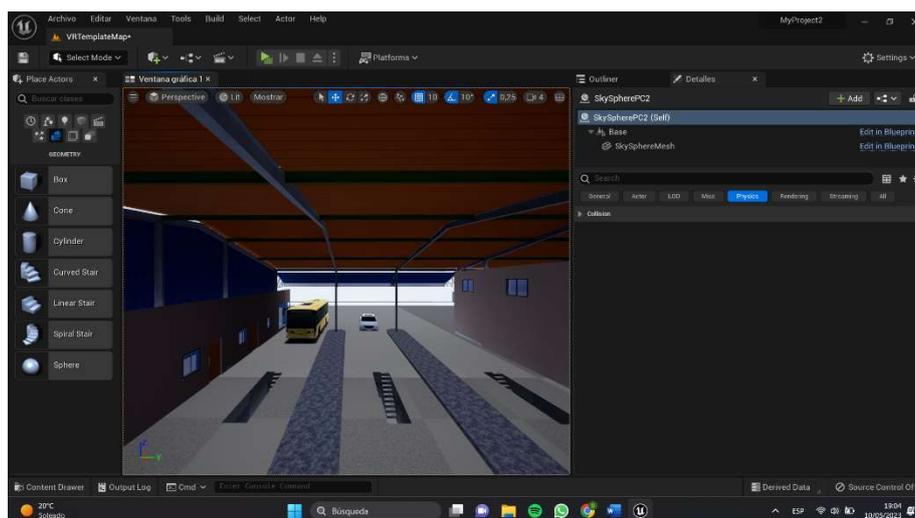


Figura 42. Colocación de escaleras de carácter aditivo en fosos. Fuente: Elaboración propia.

8.5.3 Texturizado.

Gracias a la capacidad gráfica del motor de UE, únicamente al importar modelo desde Sketchup a este software, se observa una notable mejoría en la apariencia del entorno de RV. Sin embargo, para lograr un alto grado de inmersión y presencia en el mismo (conceptos fundamentales de la RV), se ha optado por mejorar el texturizado de todos los elementos o actores que componen el entorno.

Para ello se han utilizado tanto las bibliotecas de assets y materiales de UE como de Quixel Bridge. De esta forma, se han aplicado texturas específicas a todos los actores del entorno, atendiendo a las necesidades constructivas de estos ya sean hormigón para los muros o acero para los perfiles metálicos. En esta línea, se han aplicado distintos materiales para todos los actores o elementos presentes en el entorno, no obstante, como el procedimiento es rutinario para todos, se usará como ejemplo el importado para nuestro plano de trabajo o base de la estación ITV.

Como nuestro plano de trabajo será la superficie por la que circularán nuestros vehículos, por similitudes con la realidad, se ha utilizado como material el conocido como asfalto de carreteras, el cual es una mezcla de agregados como grava y arena, betún, minerales y otros aditivos. En la propia biblioteca de Quixel Bridge se encontró un material que cumplía con estas características, como se puede observar en la figura 43 adjunta a continuación.

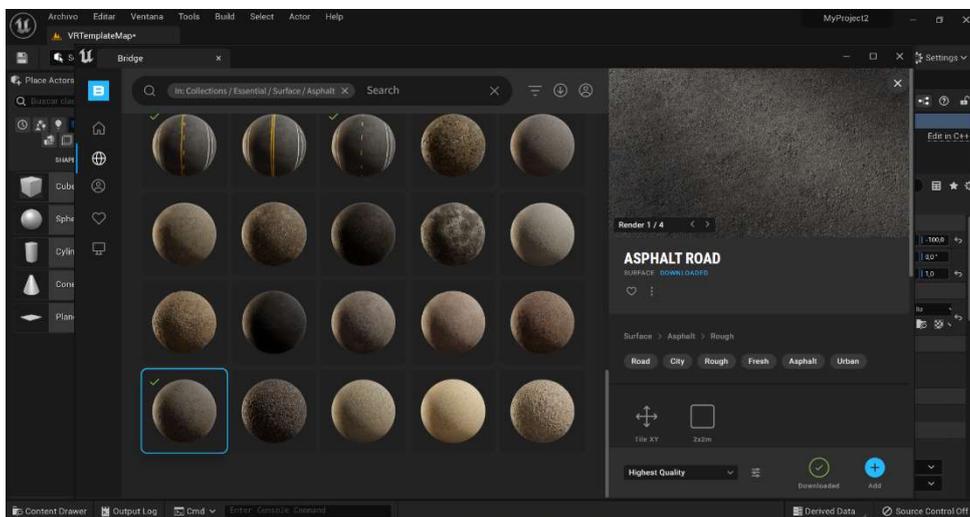


Figura 43. Material para la superficie de trabajo a través de Quixel Bridge. Fuente: Elaboración propia.

Es importante comentar, que los materiales descargados mediante este software suelen estar diseñados y definidos para unas dimensiones en concreto. Por ello, para este caso de aplicación se tuvo que reescalar las dimensiones de la apariencia del texturizado a través de programación en forma de blueprints.

A pesar de ser objeto del apartado “Blueprints”, como en este caso la modificación de los mismos influyo directamente sobre el presente apartado, se explicará brevemente el procedimiento realizado para el reescalado del texturizado de los materiales.

Cuando descargamos un material, dentro del Editor de Contenido, se crea automáticamente una carpeta que contiene todas sus características. Para ajustar la escala de estos materiales, se creó un nuevo material que utiliza las principales, siendo estas:

- Texturas: Las texturas de los materiales son imágenes 2D que devuelven la información relativa a los detalles visuales del material, como texturas de color, de rugosidad o metalicidad.
- Parámetros escalares y vectoriales: Son los valores numéricos que controlan los aspectos del material como la intensidad de un efecto o su opacidad. Estos valores pueden ser de color o dirección.

En la figura 44, adjunta a continuación se pueden observar todos los blueprints necesarios para la creación del nuevo material a utilizar, derivado de uno ya existente, al cual se le ha llamado “Asfalto”, todos los nodos presentes en el mismo y su funcionalidad se explicaron en el apartado 8.4 – Texturizado.

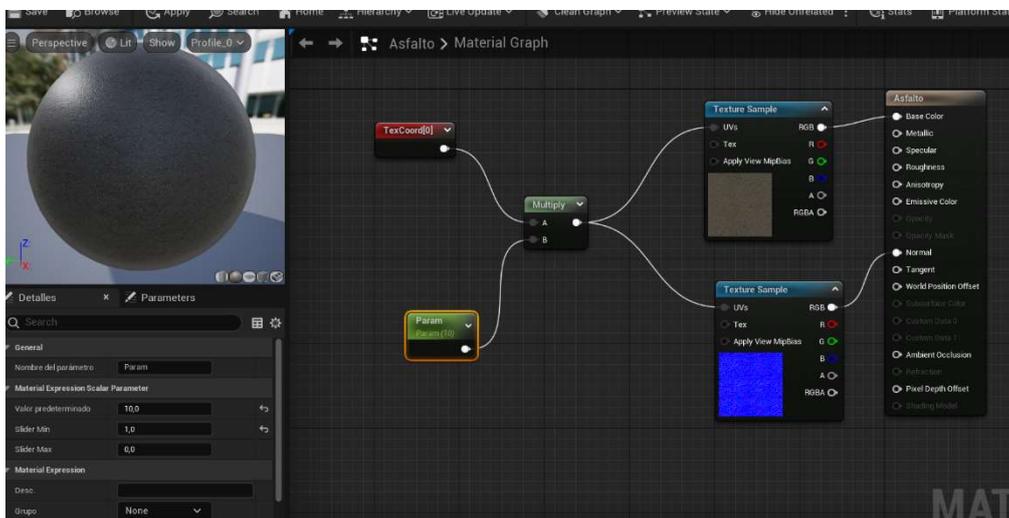


Figura 44. Blueprints para el correcto escalado del nuevo material. Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se incluyó un “Texture Sample” que poseía una imagen 2D con los detalles específicos visuales del material, como su color y rugosidad. Uniéndolo al nodo de la componente difusa del propio material, se define su apariencia base. A continuación se incluyeron los parámetros escalares y vectoriales (de apariencia

azul por defecto), uniendo su nodo principal a la componente normal del material, que creó la ilusión de profundidad y relieve en la superficie del objeto.

Hay tres blueprints fundamentales a incluir en este proceso de programación visual para poder ajustar la escala de la apariencia de un material: “Texture Coordinate” que permite controlar las coordenadas de textura de un material, permitiendo modificar su rotación o desplazamiento; “Parameter” que define un valor variable en un material y se usa como lectura de parámetros para compaginarlo con otros blueprints que los modifiquen; y “Multiply” el cual es una función matemática que permite multiplicar los valores numéricos predefinidos por estas texturas, de esta manera, como es lógico, una multiplicación por 1 mantendrá la apariencia de las texturas y de sus parámetros escalares y vectoriales como estaban predeterminados, números decimales propios entre 0-1 minimizarán el escalado de la apariencia de un material, y números mayores a 1 aumentarán esta.

A través del uso de la combinación de estos tres blueprints mencionados, y la conexión a los nodos “UVs” que definen las coordenadas de textura, tanto del componente base del material como de sus componentes vectoriales, se ajustó la escala de la apariencia de todos los materiales presentes en el entorno de RV.

En las figuras adjuntas a continuación podemos ver como se pasó de la apariencia de la textura predefinida al descargar los materiales de Quixel Bridge, a un escalado más parejo a la realidad, como se observa en la Figura 45.



Figura 45. Antes y después del escalado del material introducido para el plano de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo este procedimiento de descarga de materiales y reescalado de su texturizado mediante programación en forma de blueprints se aplicó: **acero estructural al carbono** en todas las vigas, pilares y cerchas de la nave industrial del modelo (Figura 46); **acero galvanizado corrugado** en todas las placas metálicas que forman parte de la cubierta; **hormigón** en todos los muros que conforman el perímetro de las infraestructuras de la estación ITV, en algunos casos también se usaron texturas que simulan la apariencia de ladrillos (Figura 47); **crystal** para todas

las ventanas presentes en estas infraestructuras; y **madera** en todas las puertas de acceso al edificio de uso del personal técnico.

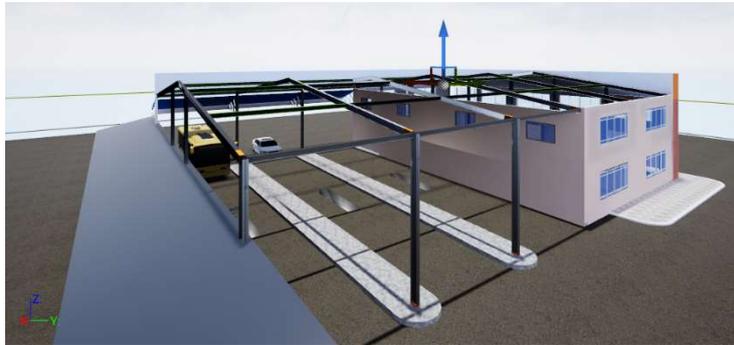


Figura 46. Visualización de vigas y pilares con la aplicación de acero estructural al carbono como material para texturizado. Fuente: Elaboración propia.

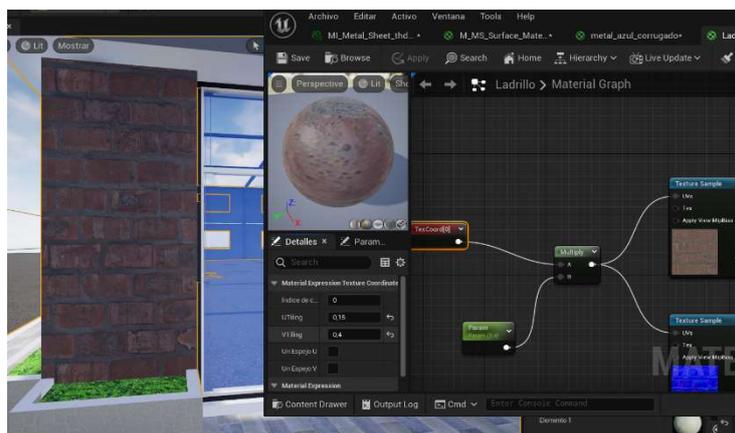


Figura 47. Texturizado de ladrillos para fachada de edificio. Fuente: Elaboración propia.

8.5.4 Entorno RV.

En este apartado, se abordará la importancia de la iluminación y las herramientas de visualización de RV presentes en UE para el caso de aplicación planteado de una estación ITV. Una de las grandes virtudes que posee este software es su sistema de iluminación, el cual permite al entorno poseer un alto grado de realismo, por otro lado, las herramientas de visualización de contenido de RV permiten que la experiencia este dotada de un alto grado de inmersión, y su incorporación en el proyecto es crucial para que este entorno sea funcional mediante el uso de dispositivos HMD.

Por un lado, se desarrollarán las diversas herramientas de iluminación utilizadas, incluyendo el uso de High Dynamic Range Imaging (HDRI). Se explicará, además, el funcionamiento y la ubicación específica en este proyecto los distintos actores de iluminación disponibles en UE, como Skylight, Skyphere, Spot Light y Point Light, el funcionamiento de esta última se explicó anteriormente en el apartado 8.5.1 – Aprendizaje de Unreal Engine.

Por otro lado, se presentarán las herramientas incluidas en Unreal Engine 5 para la visualización del entorno en RV. Estas herramientas incluyen VR Spectator, que permite mostrar la experiencia de RV a espectadores externos; Player Start, que como se comentó anteriormente se utiliza para establecer la posición inicial del jugador en el entorno; Lightmass Volume; que influye en el cálculo de la iluminación indirecta; Nav Mesh Bounds Volume y Nav Modifier No Teleport, que facilitan la navegación del jugador en el entorno; y Text Render Actor y Grab Actor Static Mesh Physics, que proporcionan opciones de visualización interactiva de texto y manipulación de objetos en RV, respectivamente.

Iluminación de la escena

- **Iluminación global**

En la creación del entorno de RV de la estación ITV, se ha empleado High Dynamic Range Imaging (HDRI) para establecer una iluminación global realista. Esta tecnología permite capturar y representar una amplia gama de valores de luminosidad y colores, otorgando un mayor grado de realismo a la escena. En una primera instancia se ideó la creación de un terreno o “landscape” mediante modelado 3D, que delimitara el perímetro de la estación ITV, pero el resultado no era lo suficientemente inmersivo.

El HDRI está basado en la captura de imágenes panorámicas de entornos reales mediante el uso de cámaras especiales de alto rango dinámico. Estas imágenes, conocidas como mapas de entorno HDR, contienen información detallada sobre la iluminación y los reflejos captados en el entorno capturado. Normalmente, estas cámaras son las conocidas como cámaras de 360 grados, ya que permiten la captura de imágenes en todas las direcciones, creando una única imagen esférica que abarca todo el entorno circundante.

En UE, se pueden usar estos mapas de entorno HDR escaneados para configurar la iluminación global de la escena. Ya sean mapas que posee por defecto el programa, o a través de la descarga e incorporación de nuevos mapas HDR. En este caso de aplicación se optó por la utilización de mapas predefinidos por el programa y, tras implementar este mapa en cuestión (Figura 5.26), se logró una iluminación más realista y precisa, siendo capaz de reflejar los colores y la intensidad de la luz del entorno capturado.

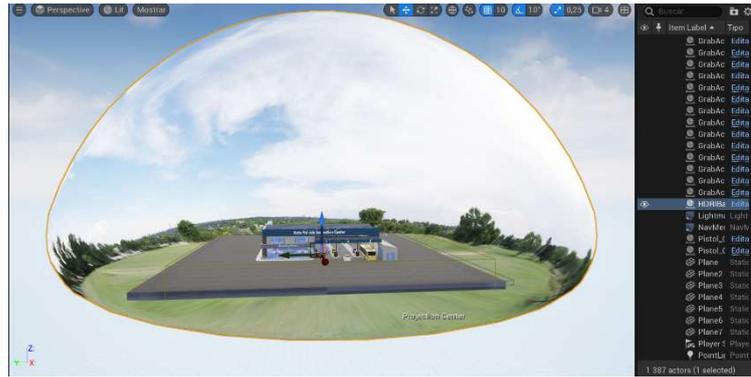


Figura 48. Mapeado HDRI para envolver la estación ITV. Fuente: Elaboración propia.

No obstante, la configuración del mapeado HDRI en UE implica el uso de dos componentes adicionales como Skylight y Skysphere. Skylight se utiliza en el entorno para el renderizado de la simulación de la iluminación global de la información que poseen estos mapas HDR, y otorga al modelo una iluminación omnidireccional en la escena; Skysphere, se utiliza para representar el cielo en la escena y otorgarle a esta un fondo más realista.

Además, en la creación de este entorno de RV, se ha hecho uso de la luz direccional, más conocida como “Directional Light”, la cual sirve para simular la acción de la luz solar dentro de la escena. De esta forma se obtiene en el entorno la capacidad de proyectar sombras y proporcionar una iluminación global en toda la escena, creando una sensación realista de luz natural y definición de formas. Este componente permite variar la ubicación del sol y por tanto la dirección de este, incluyendo su intensidad, color de luz y la calidad del sombreado.

En último lugar, se incorporó al modelo el componente denominado como “Light Mass Volume, que permite optimizar la iluminación global de la escena a través de cálculos basados en simulaciones sobre la forma en la que la luz rebota y se refleja en los objetos.

- **Iluminación específica**

Una vez definida la iluminación global del entorno de RV, se procedió a configurar la iluminación de zonas específicas de la estación de ITV a través de dos componentes de iluminación específicos que, tras ubicarse de manera estratégica, lograron resaltar elementos importantes como las áreas de inspección, zonas de paso o zonas interiores y exteriores de las infraestructuras.

Para iluminar las líneas de inspección técnica se utilizaron las luces de foco o “Spot Lights”, que emiten haces de luz concentrados en una dirección específica y que permiten, además, la configuración de la intensidad, el color y la forma del haz de

luz. Se ha colocado al menos una luz de foco en cada una de las máquinas presentes de cada línea de inspección.

Por otro lado, las luces puntuales o “Point Lights”, nombradas anteriormente en el capítulo de aprendizaje de Unreal Engine, emiten luz omnidireccionalmente desde un punto específico en el espacio. Se utilizan comúnmente para simular fuentes de luz de bombillas y lámparas, es por ello por lo que se incorporaron al modelo dentro de los fosos presentes en los detectores de holguras y de los edificios tanto de espera como de uso del personal técnico.

Por último, se hizo uso del componente llamado “Sphere Reflection Capture”, se trata de esferas que se basan en técnicas de mapeo para reflexiones físicas en tiempo real, es decir, al colocar estas esferas de captura en puntos estratégicos de la escena, se registra información sobre el entorno y la iluminación de alrededor, lo que permite al software generar reflexiones precisas en los objetos y superficies. Es importante la colocación de estos elementos en zonas estratégicas que permitan que las reflexiones sean parejas a la de una situación real.

Una vez introducidos todos estos elementos se construyó la iluminación de la escena automáticamente gracias al proceso “build light”, el cual calcula la iluminación de todos los parámetros de los componentes anteriores en tiempo real o en tiempo de compilación y los aplica al modelo.

Herramientas de visualización en VR

Como se ha nombrado anteriormente, para la creación de la escena y que su funcionamiento sea óptimo en los dispositivos HMD utilizados, ha sido fundamental incluir distintas herramientas de visualización específicas que garanticen el correcto funcionamiento de la escena. A continuación, se nombran aquellas utilizadas en la estación ITV.

- **VR Spectator**

Esta herramienta de RV es de gran utilidad, pues permite que los observadores o espectadores puedan visualizar la experiencia de RV desde una perspectiva externa, permitiendo compartirla con personas que no estén utilizando dispositivos de visualización de RV como HMD.

En este caso de aplicación es de gran utilidad, pues permite a los observadores ver en tiempo real las modificaciones que se realizan en la distribución en planta de las líneas de inspección técnica. Esto se realiza a través de una ventana en el ordenador o de una pantalla externa conectada al sistema. Para la optimización futura de este

caso de aplicación con fines educativos o de divulgación puede ser de utilidad, fomentando una mayor participación y comprensión del contenido de este caso y permitiendo su visualización sin el uso de un dispositivo HMD por persona.

- **Player start**

Como se comentó anteriormente, esta herramienta se utiliza para establecer la posición inicial del jugador dentro de la escena de RV, lo cual ha sido beneficioso para asegurar que la experiencia comience en una ubicación específica, que, en este caso, por cuestiones del orden establecido en las líneas de inspección, se ha situado en la entrada a las mismas garantizando una navegación coherente.

Además, este componente se ha escalado en base a los edificios presentes en la escena y vehículos, para que las dimensiones del espectador se adapten a una experiencia realista.

- **Nav Mesh Bounds Volume**

Este componente se utilizó para definir las áreas de navegación del espectador dentro de la escena. Se colocó estratégicamente alrededor de las áreas accesibles de la estación ITV, tales como pasillos entre las líneas de inspección, lo cual es fundamental para lograr una interacción fluida dentro del entorno, puesto que el usuario puede moverse dentro de la estación de ITV de manera natural y sin problemas, tal y como se haría en un entorno real. Delimitando áreas de navegación realistas, enfocadas en el movimiento encima del plano de trabajo, se ha evitado que el usuario pueda acceder a la cubierta de la nave industrial.

Gracias a este componente, a través de los mandos de los dispositivos HMD el usuario se puede teletransportarse de ubicación a otra seleccionada. Era uno de los objetivos fundamentales de este entorno, puesto que es importante destacar, que a pesar de poder caminar dentro de la escena, la estación ITV creada simula las dimensiones que tendría una real, lo que imposibilita el movimiento dentro de la escena desde cualquier habitáculo del mundo real.

- **Nav Modifier No Teleport**

A diferencia del componente anterior, y como su nombre indica, este fue el utilizado para restringir el acceso mediante teletransportación a ciertas zonas, fundamentalmente a aquellas que podrían generar mayores riesgos en una estación de ITV real. Recordemos que el detector del holguras posee un foso, al cual se debe acceder por unas escaleras, por ello se ha restringido la opción de pisar encima de estos.

Por otro lado, al utilizar esta herramienta de manera efectiva se logra un control preciso de la navegación, evitando situaciones donde el usuario pudiera atravesar paredes o moverse de forma no deseada.

- **Text Render Actor**

Esta herramienta es de gran utilidad para establecer cuadros de texto dentro de nuestra escena, que serán visibles cuando se inicie la experiencia de RV, aunque esta opción es personalizable. Entre otras muchas acciones como la modificación del estilo del texto, el tamaño de la fuente, el color y la alineación.

Para este caso de aplicación se han utilizado para dotar al usuario de claridad y orientación, mediante etiquetas que muestran tanto el nombre de las máquinas en las paredes (pues recordemos que se han representado todas mediante cubos tridimensionales), como de las propias áreas de trabajo en la cara superior del plano de trabajo, es decir, el pavimento de esta estación.

- **Grab Actor Static Mesh Physics**

Se podría decir que esta es la herramienta más importante para introducir en un entorno de RV cuyo finalidad sea la distribución en planta, debido a que esta es aquella que permite la interacción física con objetos estáticos dentro de la escena de RV.

Las máquinas representadas como cubos tridimensionales, anteriormente nombrados, y su recolocación mediante técnicas de distribución en planta que optimicen el proceso productivo, deben poderse agarrar mover y colocar por el usuario que se encuentra dentro de la experiencia de RV a través de los mandos de su dispositivo HMD.

Los cubos tridimensionales seleccionados son aquellos que reciben el nombre de "Grabbable Cubes" y que por tanto son complementarios a esta herramienta. Estos cubos están representados por mallas estáticas con propiedades físicas que deben ser configuradas desde la ventana "Detalles" para permitir su interacción. Desde esta ventana se configuraron elementos como simulación de físicas de estos cubos, y colisiones con otros componentes de la escena.

La herramienta Grab Actor Static Mesh Physics, aplica simulaciones físicas realistas como la detección de colisiones y respuestas a fuerzas y movimientos. Permitiendo crear una sensación de manipulación realista y una experiencia táctil inmersiva.

En este caso se aplicado esta herramienta únicamente en los cubos tridimensionales que representan las máquinas, puesto que es objeto del presente estudio ver si se optimizaría el proceso mediante la redistribución de estas, no obstante, se podría

aplicar a cualquier elemento físico del modelo que pertenezca estático, como puertas, herramientas o piezas de los vehículos.

8.5.5 Interacciones.

En este apartado, se desarrollan las interacciones en el contexto del presente caso de aplicación. Las interacciones desempeñan un papel fundamental en la experiencia de Realidad Virtual (RV), ya que permiten a los usuarios interactuar con el entorno virtual y manipular los objetos de una manera intuitiva y realista.

Las interacciones se han llevado a cabo mediante programación visual enfocada en el uso de Blueprints, y más concretamente, se han usado principalmente aquellos proporcionados por la plantilla por defecto de Unreal Engine conocida como “VR Template”, la cual ha proporcionado una base sólida para implementar la lógica y la funcionalidad necesaria para la interacción de este entorno de RV, partiendo en una primera instancia del desconocimiento de la programación mediante estas herramientas del software.

Por este motivo, durante este apartado se detallarán los diferentes Blueprints utilizados en la estación ITV para habilitar las interacciones. Cada uno de ellos representa un papel específico en la dotación de una experiencia inmersiva y realista.

- **Motion Controller Pawn**

Este Blueprint ha sido el encargado de representar al jugador dentro del entorno de RV y gestionar las interacciones con los objetos y el entorno virtual. Es el responsable de capturar y procesar los movimientos de los controladores o mandos de los dispositivos HMD, y por ello es el responsable de la representación visual de estos controladores. Los movimientos de estos controladores o mandos se traducen en movimientos virtuales de las manos dentro de la experiencia.

- **VR Player Controller**

Se trata de otro componente crucial a incluir en la escena o el entorno creado, puesto que se encarga de gestionar el movimiento y las interacciones del jugador dentro de la experiencia de RV.

Permite al jugador moverse dentro del entorno virtual, y es aquel que dota a los mandos de los dispositivos HMD, la función y la posibilidad de desplazarse en el espacio tanto mediante la teletransportación como a través del propio movimiento

del usuario. Además, se encarga de gestionar las interacciones que realiza el usuario, jugador o desarrollador y comunicarlas al entorno virtual.

Por otro lado, es aquel que controla la cámara y la vista del jugador dentro de la experiencia de RV, a través de la colocación y el seguimiento de la cámara virtual. Ajusta la posición y la orientación de la cámara según sus movimientos e interacciones.

En este caso no se han empleado más que respuestas de agarre y visuales, pero en futuros estudios o trabajos relacionados con VR, gracias a este blueprint se podrían incluir a su vez efectos auditivos o visuales en los propios dispositivos HMD.

- **VR Player Pawn**

Este blueprint juega un papel muy importante en la programación de los entornos, hay que comentar que todos son muy parecidos, se emplean y conectan entre sí mediante sus nodos devolviendo respuestas que se asemejan, pero cada uno tiene su función específica.

En este caso también se encarga de representar al jugador en el entorno virtual, representar sus movimientos, de gestionar sus interacciones, y la correcta configuración de los controladores, asegurándose que todas estas acciones estén correctamente mapeadas y respondan de manera coherente dentro del entorno creado.

- **VR Interactable Object**

Se trata del Blueprint que gestiona la programación que tienen detrás herramientas como el Grab Actor Static Mesh mencionado anteriormente. Pero se utilizan para poder llevar a cabo todo tipo de interacciones con los mandos de los dispositivos HMD como agarrar, mover, girar, soltar, etc. Se integran junto con el VR Player Controller mencionado anteriormente para dotar a la experiencia de realismo y coherencia.

8.6 RESULTADOS

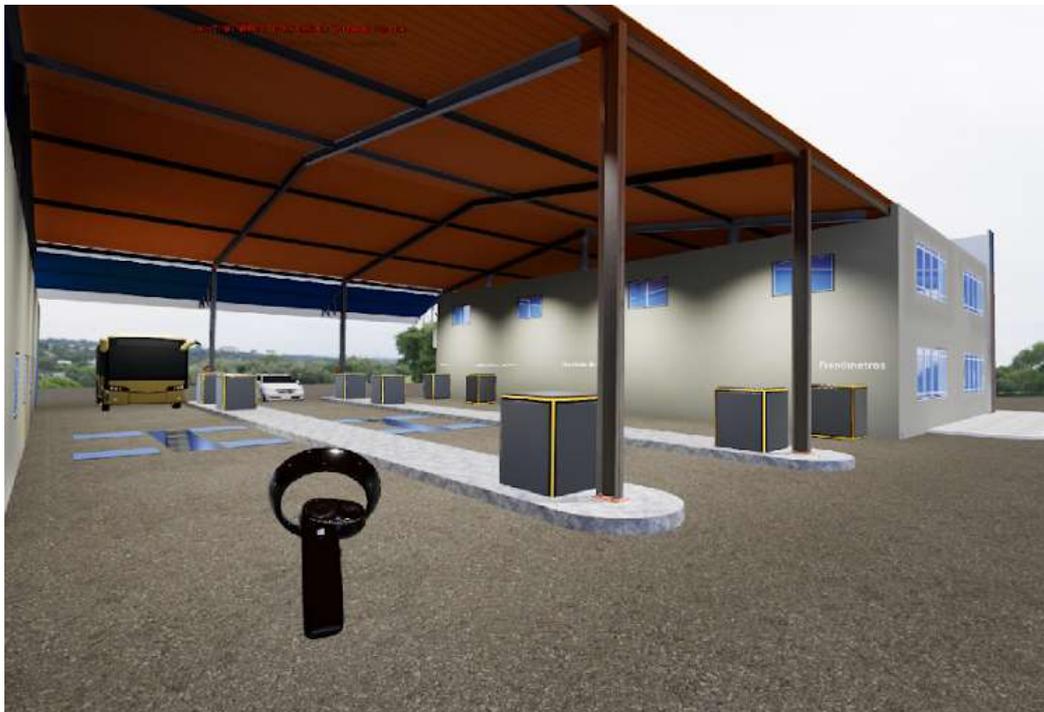
La serie de figuras adjuntas a continuación han sido extraídas de la propia visualización del entorno virtual inmersivo creado para la estación ITV, mediante el uso de dispositivos HMD.

En la Figura 49, podemos observar el resultado final tras el modelado y texturizado de las líneas de inspección, y la presencia de mandos de HMD tras la correcta programación. Se observan además las propias áreas de inspección, con texto

identificativo para cada máquina: Área eléctrica y de iluminación y Área de emisiones (Figura 50); Área de dirección y neumáticos (Figura 51); y Área de frenos y chasis (Figura 52).

Relativo a la zona de espera para los clientes, se puede observar además la zona exterior (Figura 53) y zona interior (Figura 54) de la misma, incluyendo detalles en cuanto al texturizado de cristales y ladrillos o la incorporación de assets de plantas (Figura 55).

Por último, gracias a la incorporación de las herramientas de RV y blueprints, desarrollados en apartado anteriores, se pueden observar acciones como el teletransporte (Figura 56), agarre de maquinaria en combinación de teletransporte para reubicar las mismas (Figura 57), y colocación de estas en planos de trabajo, donde vemos cómo actúan las físicas entre máquinas y con el plano de trabajo (Figura 58).



**Figura 49. Resultado de las líneas de inspección tras su modelado, texturizado y programación.
Fuente: Elaboración propia.**



Figura 50. Área eléctrica y de iluminación a la izquierda, y Área de emisiones a la derecha. Fuente: Elaboración propia.



Figura 51. Área de dirección y neumáticos. Fuente: Elaboración propia.



Figura 52. Área de frenos y chasis. Fuente: Elaboración propia.



Figura 53. Edificio de espera zona exterior. Fuente: Elaboración propia.



Figura 54. Edificio de espera zona interior. Fuente: Elaboración propia.



Figura 55. Visualización de texturizados y de assets. Fuente: Elaboración propia.



Figura 56. Acción de teletransporte. Fuente: Elaboración propia.

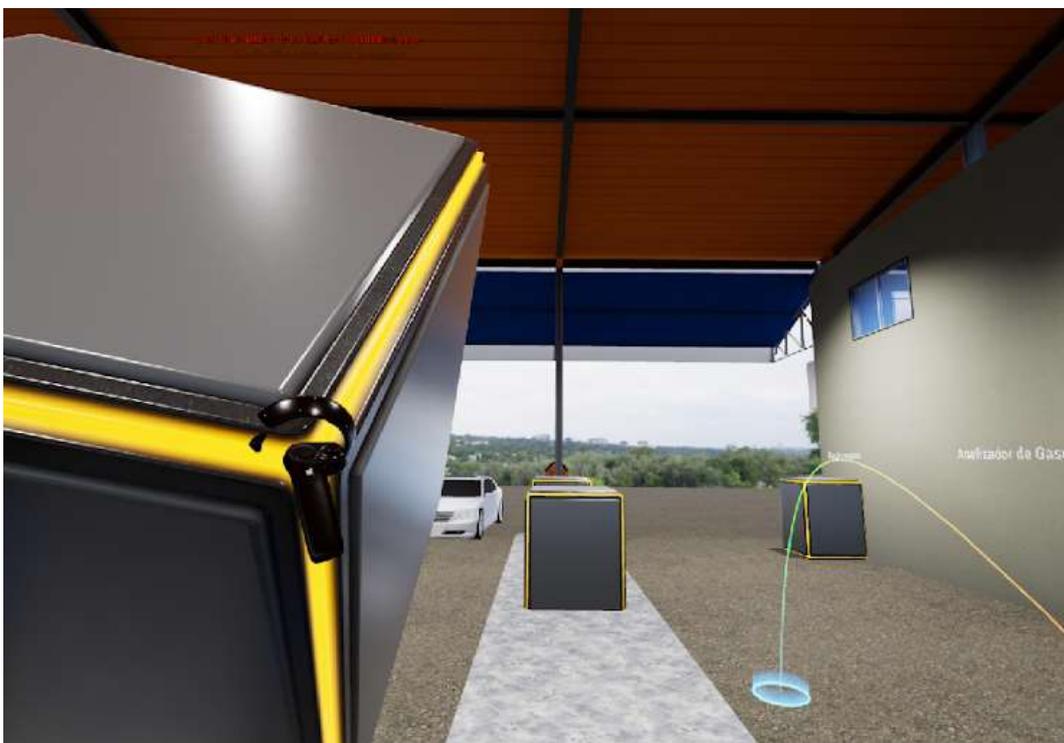


Figura 57. Acción combinada de agarre y teletransporte. Fuente: Elaboración propia.



Figura 58. Colocación de maquinarias y visualización de físicas entre ellas y el plano de trabajo.
Fuente: Elaboración propia.

8.7 CONCLUSIONES

Tras la realización de distintas configuraciones de distribución en planta de este proceso productivo en cadena cuyo modelo es unidimensional, se han llegado a una serie de conclusiones que se expondrán en el presente subcapítulo.

En primer lugar, se ha observado que la variación de la ubicación de estas máquinas de las líneas de inspección técnica no influye en gran notoriedad en el proceso productivo, pudiendo considerarse como distribuciones muy similares entre sí. Sin embargo, en base a todo el estudio llevado a cabo a lo largo del presente Trabajo de Fin de Grado, existen ciertas medidas con el uso de tecnologías derivadas de la Industria 4.0 que podrían ser aplicables para mejorar el proceso productivo.

Como se ha mencionado anteriormente, nos encontramos ante un proceso productivo en cadena o serie, que posee los principales inconvenientes de requerir una gran inversión inicial para los empresarios; que fallos en una de las operaciones, o, en este caso, en las áreas de inspección mencionadas, puede parar toda la cadena productiva; y que resulta ser un trabajo muy monótono y constante para los operarios.

Mediante el uso de tecnologías de RA y RV, se podrían previsualizar la construcción de una ITV en un lugar específico, incluyendo mapeados HDR, o incluso, previsualizar cambios en las propias cadenas productivas o de inspección, en base a futuros cambios en la industria y la implementación de maquinaria nueva que vaya surgiendo o modificaciones en las normativas vigentes. De esta manera, se podrían

realizar estudios específicos que se adapten al panorama actual del momento, para minimizar las inversiones de estos modelos de negocio.

Actualmente la distribución de las áreas de inspección de las estaciones no sigue una normativa globalizada, sino que es un concepto subjetivo para su personal. Por tanto, se podrían realizar estudios que verifiquen la mejoría del rendimiento de distribuciones de esta maquinaria y establecer reglamentos globalizados.

Relativo a este caso de aplicación de una estación de ITV, el fallo de una máquina de un área de inspección podría parar toda la cadena productiva, forzando a que el flujo material sea mayor por las líneas paralelas, lo que se traduciría en mayores tiempos de trabajo, menor rendimiento y por ende menores beneficios. Por la naturaleza de las propias máquinas de inspección, una posible recomendación, sería colocar los detectores de holguras en último lugar, por la presencia del foso. De esta manera, si falla una máquina de un área de inspección anterior, podría valorarse que utilice una máquina que no esté siendo usada de la línea de inspección que tenga más próxima, para posteriormente retomar el recorrido de su línea de inspección, siempre y cuando la avería no suceda en una máquina de la línea central de inspección.

De esta forma, el proceso productivo de las ITV pasaría de ser de una distribución en cadena o serie, a las denominadas células de fabricación flexible, permitiendo que el flujo material cambie de tareas, o en este caso, de una zona con una máquina averiada a una zona funcional para continuar el trabajo.

Estas células de fabricación podrían implementar tecnologías avanzadas del IoT, que avisen a toda la planta del fallo o avería de una máquina y de esta manera se pueda reorganizar este proceso productivo. Se podrían usar además IA que calculen la demora que se generaría en estos tiempos y la minimicen al máximo, estableciendo las rutas más adecuadas a seguir.

Además, por estos motivos, la implementación de estas tecnologías de IA e IoT nombradas, generarían nuevos puestos de trabajo, pues se necesitaría de personal altamente cualificado que se encargue de realizar mantenimientos a estos equipos y personal encargado de la ciberseguridad, para que estos dispositivos no sean vulnerables.

En lo que respecta a la Realidad Virtual, objeto del presente estudio teórico-científico, supone una herramienta de grandísima utilidad para el caso de aplicación planteado, fundamentalmente en el entrenamiento y formación de los operarios técnicos, por varias razones. El personal de nuevo ingreso o el ya existente, podría aprender mediante formación basada en entrenamientos en RV, el funcionamiento de otras áreas de inspección que no sean las suyas propias, creando trabajadores más cualificados, capaces de realizar todo tipo de labores industriales, lo que se

traduciría en mayores rotaciones entre sus puestos y derivaría en operaciones menos monótonas, trabajadores más productivos, y por consiguiente, menores tiempos de producción y mayores beneficios para estos modelos de negocio. Además, se acabaría de raíz con uno de los grandes problemas actuales, que es la retirada de la industria de los conocimientos del personal cualificado basados en el propio trabajo, como atajos o consejos, como motivo de jubilaciones. Estos consejos frente a ciertas situaciones podrían ser incluidos en los softwares de experiencias en RV, para formar al personal de nuevo ingreso ante cualquier situación laboral imprevista.

Además, la formación de este personal mediante RV de alto grado inmersivo y una presencia sofisticada, dotará a los trabajadores de una mayor conciencia en cuestiones relativas a la prevención de riesgos laborales para que estos no cometan imprudencias que puedan significar un alto riesgo para su salud, la de sus compañeros, o la de los propios clientes.

Si bien es cierto, que la inversión inicial para incluir todas estas tecnologías actualmente puede resultar costosa, este estudio basado en análisis de estudios anteriores ha demostrado que la industria está avanzando a un alto nivel disruptivo, en el cual las empresas deberán marcar un diferencial competitivo para no caer en la obsolescencia. Además, debido crecimiento del uso de estas tecnologías en los últimos años cada vez será más barata la incorporación de estas en los procesos industriales y los resultados productivos que otorgan son siempre ventajosos.

En resumen, el análisis de la distribución en planta de una estación ITV mediante el uso de tecnologías de la Industria 4.0, como la RV, demuestra que existen oportunidades para mejorar el proceso productivo. El uso de tecnologías de RA y RV permite la previsualización de construcciones y cambios en las cadenas productivas, mientras que la modificación de estas producciones en serie a células de fabricación flexible, junto con la implementación de tecnologías avanzadas del IoT y la IA permitiría una mayor eficiencia y adaptabilidad en el flujo de trabajo. Asimismo, la formación en RV ofrece beneficios relativos a términos de capacitación, seguridad laboral y retención de conocimientos. A pesar de los costos iniciales, estas tecnologías representan una inversión prometedora para las empresas que deseen mantener un diferencial competitivo en un entorno industrial en constante evolución.

Es importante destacar que, si bien este estudio se centró en el caso específico de una estación ITV, las conclusiones y las ideas presentadas pueden ser extrapoladas a otras industrias y sectores. La Industria 4.0 y las tecnologías asociadas ofrecen un amplio abanico de posibilidades a la hora de optimizar los procesos productivos, mejorar la eficiencia, reducir costos y aumentar la competitividad.

Además, es crucial mencionar que la implementación de estas tecnologías no solo implica beneficios económicos y productivos, sino que también conlleva

responsabilidades y desafíos adicionales. La ciberseguridad y un mantenimiento adecuado de los equipos se vuelven aspectos críticos para garantizar un correcto funcionamiento y proteger los activos de la empresa.

Es evidente que la Industria 4.0 está revolucionando el actual panorama industrial y por ello las empresas deberán buscar formas de diferenciarse y adaptarse a este nuevo paradigma. La implementación de estas tecnologías, aunque actualmente conlleve una inversión inicial significativa, se estima que se volverá más accesible con el tiempo, y los resultados productivos y competitivos que ofrecen son una clara ventaja para los modelos de negocio modernos. La adopción de las tecnologías 4.0 y el uso de algunas de ellas como la Realidad Virtual son fundamentales para asegurar la viabilidad y el éxito a largo plazo de las empresas del sector industrial actual y futuro.

CONCLUSION

After conducting various layout configurations of this one-dimensional chain production process, a series of conclusions have been reached, which will be presented in this chapter.

Firstly, it has been observed that the variation in the placement of these machines in the technical inspection lines does not significantly influence the production process, as the distributions can be considered very similar to each other. However, based on the entire study carried out in this Final Degree Project, there are certain measures using technologies derived from Industry 4.0 that could be applied to improve the production process.

As mentioned earlier, we are dealing with a chain or series production process, which has the main disadvantages of requiring a significant initial investment for entrepreneurs, the potential for a failure in one of the operations or, in this case, in the mentioned inspection areas, can stop the entire production chain, and also its being a monotonous and constant job for the operators.

By using Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) technologies, it would be possible to visualize the construction of an Inspection and Testing Vehicle (ITV) station in a specific location, including high-dynamic-range (HDR) mapping, or even preview changes in the production or inspection chains based on future industry changes and the implementation of new machinery or modifications to existing regulations. In this way, specific studies could be conducted to adapt to the current landscape, minimizing the investments required for these business models.

Currently, the distribution of inspection areas in stations does not follow a global regulation but is a subjective concept for the personnel. Therefore, studies could be conducted to verify the performance improvement of machinery distributions and establish standardized regulations.

Regarding this application case of an ITV station, a failure in a machine in one of the inspection areas could halt the entire production chain, forcing the material flow to increase through parallel lines, resulting in longer working times, lower efficiency, and consequently, reduced profits. Due to the nature of the inspection machines, one possible recommendation would be to place clearance detectors last in the sequence, considering the presence of the pit. This way, if a machine in a previous inspection area fails, it could be considered to use a machine from the nearest inspection line that is not being used, and then resume the normal inspection line, as long as the breakdown does not occur in a machine from the central inspection line.

In this way, the production process of ITV stations would transition from a chain or series distribution to the so-called flexible manufacturing cells, allowing the material flow to change tasks or, in this case, move from a zone with a faulty machine to a functional zone to continue the work.

These manufacturing cells could implement advanced Internet of Things (IoT) technologies that notify the entire plant of a machine failure or breakdown, enabling the reorganization of the production process. Additionally, AI could be utilized to calculate the delay generated during these times and minimize it as much as possible, establishing the most appropriate routes to follow.

Furthermore, due to these reasons, the implementation of AI and IoT technologies mentioned above would create new job positions, as highly qualified personnel would be needed to perform maintenance on these equipment and ensure cybersecurity to protect these devices from vulnerabilities.

Moreover, training personnel through highly immersive VR experiences with sophisticated presence would provide workers with a greater awareness of occupational safety, preventing them from making mistakes that could pose a high risk to their health, the well-being of their coworker, or even the customers.

While it is true that the initial investment to incorporate all these technologies can be costly, this study, based on the analysis of previous research, has demonstrated that the industry is advancing at a high disruptive level, where companies must establish a competitive edge to avoid obsolescence. Furthermore, due to the increasing adoption of these technologies in recent years, the incorporation of these technologies into industrial processes will become cheaper, and the resulting productivity gains are always advantageous.

In summary, the analysis of the plant layout of an ITV station using Industry 4.0 technologies, such as VR, demonstrates opportunities to improve the production process. The use of AR and VR technologies allows for the visualization of constructions and changes in production chains, while the transformation of these serial productions into flexible manufacturing cells, along with the implementation of advanced IoT and AI technologies, would enable greater efficiency and adaptability in the workflow. Additionally, VR training offers benefits in terms of employee training, occupational safety, and knowledge retention. Despite the initial costs, these technologies represent a promising investment for companies aiming to maintain a competitive advantage in an ever-evolving industrial environment.

It is important to note that, although this study focused on the specific case of an ITV station, the conclusions and ideas presented can be extrapolated to other industries and sectors. Industry 4.0 and associated technologies offer a wide range of possibilities for optimizing production processes, improving efficiency, reducing costs, and increasing competitiveness.

Furthermore, it is crucial to mention that the implementation of these technologies not only brings economic and production benefits but also entails additional responsibilities and challenges. Cybersecurity and proper equipment maintenance become critical aspects to ensure correct operation and protect the company's assets.

It is evident that Industry 4.0 is revolutionizing the current industrial landscape, and therefore, companies must seek ways to differentiate themselves and adapt to this new paradigm. The implementation of these technologies, although currently involving significant initial investment, is expected to become more accessible over time, and the resulting productivity and competitive advantages are clear for modern business models. The adoption of Industry 4.0 technologies and the use of specific tools like Virtual Reality are essential to ensure the long-term viability and success of companies in the current and future industrial sector.

9 EXPERIENCIA DEL USO DE RV Y VALORACIÓN PERSONAL.

Mi experiencia con el uso de la Realidad Virtual ha sido sumamente enriquecedora. El software computacional de Unreal Engine, me parece una herramienta de gran utilidad para combinarla con los conocimientos adquiridos durante la carrera relativos al modelado 3D mediante softwares CAD.

En mi caso personal, a pesar de haber utilizado anteriormente esta tecnología con finalidades no educativas o laborales me ha sorprendido gratamente la cantidad de alternativas que propone, dado que en mi opinión, su uso es escalable a cualquier modelo de negocio, en mayor o menor medida. De manera generalizada, me parece una herramienta fundamental para la formación y capacitación del nuevo personal de una empresa, o para mantener en un constante aprendizaje al personal actual debido a todos los cambios generados por este veloz avance de la tecnología.

En un contexto industrial, considero que será esencial la incorporación de esta tecnología, así como de su hermana la Realidad Aumentada, para marcar diferenciales competitivos del resto de empresas, aumentando la productividad de una empresa, lo que se traduce en menores tiempos de espera, y mejores resultados y beneficios. Combinada con la RA, me parece una herramienta realmente útil en los ámbitos de prototipado, la construcción, y los cambios de distribución o maquinaria generados a diversos motivos como nuevas normativas, dado que al permitir la visualización y el estudio de las mejores alternativas antes de llevarlas a la realidad, se minimizan los costes.

No obstante, considero que el coste de estas tecnologías es demasiado elevado, y que para las pequeñas empresas que no tengan un objetivo marcado y muy claro de su uso, podrá derivar en gastos innecesarios, que dependiendo del contexto les podrá acarrear consecuencias realmente negativas.

De cara a mi futuro laboral, sin ninguna duda seguiré indagando y formándome en el uso de esta tecnología y de las demás tecnologías que constituyen los pilares de esta Industria 4.0, puesto que los constantes cambios disruptivos del sector industrial son un hecho, por lo que será fundamental realizar un continuo aprendizaje que se adapte al panorama industrial actual y futuro, evitando la desactualización o caducidad laboral.

10 BIBLIOGRAFÍA.

[Mínguez Emilio. “Lección Inaugural, La importancia de la energía en las revoluciones industriales,” 17- septiembre-2015].

Abdusselam, M. S., & Karal, H. (2020). The effect of using augmented reality and sensing technology to teach magnetism in high school physics. *Technology, Pedagogy and Education*, 29(4), 407–424. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1766550>

Abidi, M. H., El-Tamimi, A. M., Al-Ahmari, A. M., Darwish, S. M., & Rasheed, M. S. (2013). Virtual ergonomic assessment of first Saudi Arabian designed car in a semi-immersive environment. *Procedia Engineering*, 64, 622–631. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.09.137>

Abu Alatta, R., & Freewan, A. (2017). Investigating the effect of employing immersive virtual environment on enhancing spatial perception within design process. *Archnet-IJAR*, 11(2), 219–238. <https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v11i2.1258>

Aguilar, L. J. (2017). Ciberseguridad: la colaboración público-privada en la era de la cuarta revolución industrial (Industria 4.0 versus ciberseguridad 4.0). *Cuadernos de estrategia*, (185), 19-64.

Akay, M., & Marsh, A. (2001). *Virtual Reality in Medicine and Biology*. In *Information Technologies in Medicine, Medical Simulation and Education* (pp. 1–31). Wiley-IEEE Press.

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>

Alebooyeh, M., & Urbanic, R. J. (2019). Neural network model for identifying workspace, forward and inverse kinematics of the 7-DOF YuMi 14000 ABB collaborative robot. *IFAC-PapersOnLine*, 52(10), 176-181.

Alizadehsalehi, S., Hadavi, A., & Huang, J. C. (2019). BIM/MR-Lean construction project delivery management system. 2019 IEEE Technology and Engineering Management Conference, TEMSCON 2019. <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2019.8813574>

Angulo, A. (2013). On the design of architectural spatial experiences using immersive simulation. 11th EAEA Envisioning Architecture: Design, Evaluation, Communication Conference, Track 2, 151–158. http://www.labsimurb.polimi.it/11EAEA/T02/paper/EAEA11_PAPER_T02_ANGULO.pdf

Azuela, J. H. (2020). El papel de la inteligencia artificial en la Industria 4.0.

Bajic, B., Cosic, I., Katalinic, B., Moraca, S., Lazarevic, M., & Rikalovic, A. (2019). EDGE COMPUTING VS. CLOUD COMPUTING: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN INDUSTRY 4.0. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 30.

Barata, P. N. A., Filho, M. R., & Nunes, M. V. A. (2015). Consolidating learning in power systems: Virtual reality applied to the study of the operation of electric power transformers. *IEEE Transactions on Education*, 58(4), 255–261. <https://doi.org/10.1109/TE.2015.2393842>

Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: fabricando el futuro* (Vol. 647). Inter-American Development Bank.

Beke Hen, L. (2019). Exploring Surgeon's Acceptance of Virtual Reality Headset for Training. In *Augmented Reality and Virtual Reality* (pp. 291–304). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06246-0_21

Bellalouna, F. (2019). VR Based Design Process of Industrial Products. *International Conference on Competitive Manufacturing*, 240–245.

Bellalouna, F. (2020). New approach for industrial training using virtual reality technology. *Procedia CIRP*, 93, 262-267.

Berg, L. P., & Vance, J. M. (2017). Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. *Virtual Reality*, 21(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0293-9>

Bermúdez, G. M., VILLALOBOS, M. P. K., & CASTAÑEDA, A. S. (2021). *Industria 4.0. Trabajo y seguridad social*.

Bertoline, G. R., Wiebe, E. N., Hartman, N. W., & Ross, W. A. (2010). *Fundamentals of graphics communication*. McGraw-Hill Higher Education.

Biocca, F., & Delaney, B. (1995). Immersive virtual reality technology. In *Communication in the age of virtual reality*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Birt, J., Moore, E., & Cowling, M. (2017). Improving paramedic distance education through mobile mixed reality simulation. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(6), 69–83. <https://doi.org/10.14742/ajet.3596>

Blümel, E., & Haase, T. (2010). Virtual reality platforms for education and training in industry. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 5968 LNCS, 1–7. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12082-4_1

Bogicevic, V., Liu, S. Q., Seo, S., Kandampully, J., & Rudd, N. A. (2021). Virtual reality is so cool! How technology innovativeness shapes consumer responses to service preview

modes. *International Journal of Hospitality Management*, 93, 102806. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2020.102806>

Borgen, K. B., Ropp, T. D., & Weldon, W. T. (2021). Assessment of Augmented Reality Technology's Impact on Speed of Learning and Task Performance in Aeronautical Engineering Technology Education. *International Journal of Aerospace Psychology*, 31(3), 219–229. <https://doi.org/10.1080/24721840.2021.1881403>

Borsci, S., Lawson, G., Jha, B., Burges, M., & Salanitri, D. (2016). Effectiveness of a multidevice 3D virtual environment application to train car service maintenance procedures. *Virtual Reality*, 20(1), 41–55. <https://doi.org/10.1007/s10055-015-0281-5>

Borsci, S., Lawson, G., Salanitri, D., & Jha, B. (2016). When simulated environments make the difference: the effectiveness of different types of training of car service procedures. *Virtual Reality*, 20(2), 83–99. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0286-8>

Bowling, S. R. (2010). Evaluating the effectiveness of a priori information on process measures in a virtual reality inspection task. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 3(1), 221–248. <https://doi.org/10.3926/jiem.2010.v3n1.p221-248>

Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual reality: How much immersion is enough? *Computer*, 40(7), 36–43. <https://doi.org/10.1109/MC.2007.257>

Cabero Almenara, J., Barroso Osuna, J., Puentes Puente, Á., & Cruz Pichardo, I. (2018). Realidad aumentada para aumentar la formación en la enseñanza de la medicina. *Educación Médica Superior*, 32(4), 56–69.

Cabero, J., Barroso, J., & Llorente, C. (2019). La realidad aumentada en la enseñanza universitaria. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 17(1), 105–118. <https://doi.org/10.4995/REDU.2019.11256>

Cabero-Almenara, J., & Roig-Vila, R. (2019). The motivation of technological scenarios in Augmented Reality (AR): Results of different experiments. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(14), 2907. <https://doi.org/10.3390/app9142907>

Cardoso, A., do Santos Peres, I. C., Lamounier, E., Lima, G., Miranda, M., & Moraes, I. (2018). Associating holography techniques with BIM practices for electrical substation design. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 599, 37–47. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60204-2_5/FIGURES/6

Carpio-Tirado Lazo, L. A. (2016). Propuesta de redistribución de planta para una empresa de confección textil.

Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Hawaii International Conference on System Sciences*, 659–669 vol.2. <https://doi.org/10.1109/hicss.1992.183317>

Celik, C., Guven, G., & Cakir, N. K. (2020). Integration of mobile augmented reality (Mar) applications into biology laboratory: Anatomic structure of the heart. *Research in Learning Technology*, 28, 2020. <https://doi.org/10.25304/rlt.v28.2355>

Chamaret, D., Ullah, S., Richard, P., Naud, M., Chamaret, D., Richard, P., Naud, M., Richard, P., Naud, M., & Ullah, S. (2010). Integration and evaluation of haptic feedbacks: from CAD models to virtual prototyping. *Int J Interact Des Manuf*, 4, 87–94. <https://doi.org/10.1007/s12008-010-0089-1>

Checa, D., & Bustillo, A. (2020). A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training. *Multimedia Tools and Applications*, 79(9–10), 5501–5527. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08348-9>

Chmielewski, M., Sapiejewski, K., & Sobolewski, M. (2019). Application of augmented reality, mobile devices, and sensors for a combat entity quantitative assessment supporting decisions and situational awareness development. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(21), 4577. <https://doi.org/10.3390/app9214577>

Choi, S., & Park, J. S. (2021). Development of augmented reality system for productivity enhancement in offshore plant construction. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(2), 1–23. <https://doi.org/10.3390/jmse9020209>

Contero, M. Company, P., Vila, C. y Aleixos, N. (2002) Product Data Quality and Collaborative Engineering, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 22(3), 32-42.

Cruz, J. A. F., Gallardo, P. C., & Villarreal, E. A. (2014). La Realidad Virtual una Tecnología Innovadora Aplicable al Proceso de Enseñanza de los Estudiantes de Ingeniería. *Apertura, Revista de Innovación Educativa*, 6(2), 86–99. <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura3/rt/printerFri...>

Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383–394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>

De Moura, D. Y., & Sadagic, A. (2019). The effects of stereopsis and immersion on bimanual assembly tasks in a virtual reality system. *26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 - Proceedings*, 286–294. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798112>

Digi-Capital. (2016). AR/VR investment in 2015 breaks out near \$700 million. *Blog Digi-Capital*. <http://www.digi-capital.com/> (<http://goo.gl/aD5pib>).

Dopart, C., Jackson, K., Carpenter, M. D., Cohanin, B. E., & Hoffman, J. A. (2014). A mission guided investigation of operational functions and user interface for Mobility Augmenting Jetpack with Integrated CMGs (MAJIC). *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/AERO.2014.6836206>

Dorna, E. I. (2018). Industria 4.0: ¿Cómo afecta la digitalización al sistema de protección social?. *Lan harremanak-Revista de relaciones laborales*, (40).

Duarte, M. (2014). El dibujo y la expresión gráfica como herramientas fundamentales en la ingeniería industrial. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, vol. IV, núm. 13, diciembre, 2014, pp. 106-113. Universidad de Carabobo. Carabobo, Venezuela.

Eiris, R., Wen, J., & Gheisari, M. (2022). iVisit-Collaborate: Collaborative problem-solving in multiuser 360-degree panoramic site visits. *Computers and Education*, 177, 104365. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104365>

Espinosa, C. A. R., Esperanza Margarita Torres, C. Q. E. P. D., Gonzalez, J. R. A., Álvarez, D. E. R., Penso, M. M., & De La Cruz, O. A. N. (2021). Immersive virtual reality application for volumetric composition learning in architectural design. *Architecture, City and Environment*, 16(46), 1233–1254. <https://doi.org/10.5821/ace.16.46.9633>

Farmani, Y., & Teather, R. J. (2020). Evaluating discrete viewpoint control to reduce cybersickness in virtual reality. *Virtual Reality*, 24(4), 645–664. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00425-x>

Fassbender, E., & Jones, C. M. (2014). Virtual, Augmented Reality and Serious Games for Healthcare 1. *Intelligent Systems Reference Library*, 68, 547–566. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-54816-1.pdf>

Fernandes, P., Pinheiro, A., Cruz, G., Maia, A. M., Morgado, L., Martins, P., Paredes, H., Fonseca, B., Bernardino Lopes, J., & Cravino, J. (2013). Demo: Multi-user virtual world simulator of F-16 aircraft engine mechanical maintenance. *Proceedings - 2013 2nd Experiment@ International Conference, Exp.at 2013*, 166–167. <https://doi.org/10.1109/ExpAt.2013.6703056>

Fildes, N. (2016). 2016 is the year that VR will take off.

Fitzgerald, M., Kruschwitz, N., Bonnet, D., & Welch, M. (2013). Embracing Digital Technology: A New Strategic Imperative. *MIT Sloan Management Review*, 1–12. <http://sloanreview.mit.edu/faq/>

Fonseca, D., Cavalcanti, J., Peña, E., Valls, V., Sanchez-Sepúlveda, M., Moreira, F., Navarro, I., & Redondo, E. (2021). Mixed assessment of virtual serious games applied in architectural and urban design education. *Sensors*, 21(9), 3102. <https://doi.org/10.3390/s21093102>

Forest, D. D. (2021). Training the next generation of operators: AFPM immersive learning. *Process Safety Progress*, 40(4), 219–223. <https://doi.org/10.1002/prs.12246>

Fosnot, C. T. (2013). *Constructivism: Theory, Perspectives, and Practice*. Teachers College Press. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=->

plbAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT9&dq=Constructivism:+Theory,+perspectives,+and+practice.&ots=tyMhNQkuCA&sig=tKJRn-ynhtMq0kKgrhnFG_VU_cE#v=onepage&q=Constructivism%3A Theory%2C perspectives%2C and practice.&f=false

Fowler, C. (2015). Virtual reality and learning: Where is the pedagogy? *British Journal of Educational Technology*, 46(2), 412–422. <https://doi.org/10.1111/bjet.12135>

Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>

Freina, L., & Ott, M. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. *Proceedings of ELearning and Software for Education (ELSE)(Bucharest, Romania, April 23--24, 2015)*, 8. <http://www.google.com/patents/US3050870>

Friend, C. H. (1992). *Aircraft maintenance management*. Longman Publishing Group.

Galán Serrano, J., & Felip Miralles, F. (2018). Experiencias inmersivas durante la fase conceptual del proyecto arquitectónico: la realidad virtual como herramienta para la participación del usuario en el proceso de co-creación. *EGE Revista de Expresión Gráfica En La Edificación*, 0(10), 50–57. <https://doi.org/10.4995/EGE.2018.12447>

Ganier, F., Hoareau, C., & Tisseau, J. (2014). Evaluation of procedural learning transfer from a virtual environment to a real situation: A case study on tank maintenance training. *Ergonomics*, 57(6), 828–843. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.899628>

Geng, J., Li, Y., Wang, R., Wang, Z., Lv, C., & Zhou, D. (2017). A virtual maintenance-based approach for satellite assembling and troubleshooting assessment. *Acta Astronautica*, 138, 434–453. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.06.018>

George Reyes, C. E. (2020). Perception of high school students about using Metaverse in augmented reality learning experiences in mathematics. *Pixel-Bit, Revista de Medios y Educacion*, 58, 143–159. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.74367>

Goktepe Yildiz, S., & Ozdemir, A. S. (2020). The effects of engineering design processes on spatial abilities of middle school students. *International Journal of Technology and Design Education*, 30(1), 127–148. <https://doi.org/10.1007/s10798-018-9491-y>

Gomez-Tone, H. C., Alpaca Chávez, M., Vásquez Samalvides, L., & Martin-Gutierrez, J. (2022). Introducing Immersive Virtual Reality in the Initial Phases of the Design Process—Case Study: Freshmen Designing Ephemeral Architecture. *Buildings*, 12(5), 518.

González García, J. L. (2005). Aportación a la optimización multiobjetivo de la distribución en planta (Doctoral dissertation, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia (España)).

Graf, H., Brunetti, G., & Stork, A. (2002). A methodology supporting the preparation of 3D-CAD data for design reviews in VR. In DESIGN 2002: Proceedings of the 7th International Design Conference, Vols 1 and 2 (Issue 7th International Design Conference (DESIGN 2002)), pp. 489–495. <https://www.designsociety.org/publication/29607/A+Methodology+Supporting+the+Preparation+of+3D-CAD+Data+for+Design+Reviews+in+VR>

Gubert, X. A. (2019). La Industria 4.0, el nuevo motor de la innovación industrial. Dirección y Organización, (69), 99-110.

Guo, Z., Zhou, D., Chen, J., Geng, J., Lv, C., & Zeng, S. (2018). Using virtual reality to support the product's maintainability design: Immersive maintainability verification and evaluation system. Computers in Industry, 101, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.06.007>

Guven, G., Kozcu Cakir, N., Sulun, Y., Cetin, G., & Guven, E. (2022). Arduino-assisted robotics coding applications integrated into the 5E learning model in science teaching. Journal of Research on Technology in Education, 54(1), 108–126. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1812136>

Haar, R. (2005). Virtual Reality in the Military: Present and Future. 3rd Twente Student Conference on IT.

Heemskerk, C. J. M., De Baar, M. R., Boessenkool, H., Graafland, B., Haye, M. J., Koning, J. F., Vahedi, M., & Visser, M. (2011). Extending Virtual Reality simulation of ITER maintenance operations with dynamic effects. Fusion Engineering and Design, 86(9–11), 2082–2086. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2011.04.066>

Henning, K. (National A. of S. and E., Wolfgang, W. (German R. C. for A. I., & Johannes, H. (Deutsche P. A. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. In Final report of the Industrie 4.0 WG. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Recommendations+for+implementing+the+strategic+initiative+INDUSTRIE+4.0%3A+securing+the+future+of+German+manufacturing+industry%3B+final+report+of+the+Industrie+4.0+Working+Group.&btnG=

Hequet, A. G. (2016). Maximize efficiency and safety of smelters through advanced multipurpose simulator solutions. In Light Metals 2012 (pp. 909–911). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48179-1_157

Heydarian, A., Carneiro, J. P., Gerber, D., Becerik-Gerber, B., Hayes, T., & Wood, W. (2015). Immersive virtual environments versus physical built environments: A benchmarking study for building design and user-built environment explorations. Automation in Construction, 54, 116–126. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2015.03.020>

Hilfert, T., Teizer, J., & König, M. (2016). First Person Virtual Reality for Evaluation and Learning of Construction Site Safety . <https://doi.org/10.22260/ISARC2016/0025>

Hillis, K. (1997). Possible Worlds: The Social Dynamic of Virtual Reality Technology by Ralph Schroeder. *The American Journal of Sociology*, 102(6), 1795–1796. <http://www.jstor.org/stable/10.1086/231169>

Hoffmann Souza, M. L., da Costa, C. A., de Oliveira Ramos, G., & da Rosa Righi, R. (2020). A survey on decision-making based on system reliability in the context of Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 133–156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.05.016>

Horvath, I., Kassem, M., Keenaghan, G., & Horváth, I. (2014). STATE OF THE ART OF USING VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN BUILT ENVIRONMENT EDUCATION. *Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, 19–23.

Hossain Maghool, S. A., Moeini, S. H. (Iradj), & Arefazar, Y. (2018). An educational application based on virtual reality technology for learning architectural details: Challenges and benefits. *Archnet-IJAR*, 12(3), 246–272. <https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v12i3.1719>

Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers and Education*, 123, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2021). Significant applications of big data in Industry 4.0. *Journal of Industrial Integration and Management*, 6(04), 429-447.

Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>

Keil, Jens, Rojtberg, P., & Schmitt, M. (2015). Content First-A concept for Industrial Augmented Reality Maintenance Applications using Mobile Devices. *Proceedings of the 6th ACM Multimedia Systems Conference*. <https://doi.org/10.1145/2713168>

Keil, Julian, Edler, D., O'Meara, D., Korte, A., & Dickmann, F. (2021). Effects of Virtual Reality Locomotion Techniques on Distance Estimations. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2021, Vol. 10, Page 150, 10(3), 150. <https://doi.org/10.3390/IJGI10030150>

Kellems, R. O., Eichelberger, C., Cacciatore, G., Jensen, M., Frazier, B., Simons, K., & Zaru, M. (2020). Using Video-Based Instruction via Augmented Reality to Teach Mathematics to Middle School Students With Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 53(4), 277–291. <https://doi.org/10.1177/0022219420906452>

Keller, D., Doceul, L., Ferlay, F., Louison, C., Pilia, A., Pavy, K., Chodorge, L., & Andriot, C. (2015). Use of virtual reality for optimizing the life cycle of a fusion component. *Fusion Engineering and Design*, 101, 186–191. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2015.07.019>

Kim, S. R., & Weissmann, D. (2006). Middleware-based Integration of Multiple CAD and PDM Systems into Virtual Reality Environment. *Computer-Aided Design and Applications*, 3(5), 547–556. <https://doi.org/10.1080/16864360.2006.10738408>

Kleiber, M., Alexander, T., Winkelholz, C., & Schlick, C. M. (2012). User-centered design and evaluation of an integrated AR-VR system for tele-maintenance. *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 1443–1448. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2012.6377938>

Kolb, A. Y., & Kolb D.A. (2014). Experiential learning theory. *Literacy Research, Practice and Evaluation*, 4, 109–137. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46279-6_4

Koning, J. F., De Baar, M. R., Elzendoorn, B. S. Q., Heemskerck, C. J. M., Ronden, D. M. S., & Schuth, W. J. (2012). Analysis of ITER upper port plug remote handling maintenance scenarios. *Fusion Engineering and Design*, 87(5–6), 515–519. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2012.01.015>

Krokos, E., Plaisant, C., & Varshney, A. (2019). Virtual memory palaces: immersion aids recall. *Virtual Reality*, 23(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0346-3>

Kuliga, S. F., Thrash, T., Dalton, R. C., & Hölscher, C. (2015). Virtual reality as an empirical research tool - Exploring user experience in a real building and a corresponding virtual model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 363–375. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.09.006>

Kulkarni, A., & Kapoor, A. (2013). Virtual tools for safety and ergonomic evaluations of electric vehicle architecture. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, 12. <https://doi.org/10.1115/IMECE2013-63045>

Kumar, S., Hedrick, M., Wiacek, C., Student, G., & Messner, J. I. (2011). DEVELOPING AN EXPERIENCED-BASED DESIGN REVIEW APPLICATION FOR HEALTHCARE FACILITIES USING A 3D GAME ENGINE. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 16, 85–104. <http://www.itcon.org/2011/6>

Lanier, J. (1992). *Virtual Reality: The Promise of the Future*. *Interactive Learning International*, 8(4), 275–279. <https://eric.ed.gov/?id=EJ453272>

Lascano, A. M. P. (2022). Industria 4.0, implicaciones, certezas y dudas en el mundo laboral. *Universidad y Sociedad*, 14(4), 453-465.

Leoncini, P., Sikorski, B., Baraniello, V., Martone, F., Luongo, C., & Guida, M. (2017). Multiple NUI device approach to full body tracking for collaborative virtual environments.

Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 10324 LNCS, 131–147. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5_10/FIGURES/13

Li, F., Shen, L., Tang, G., Wu, B., Zhou, C. Q., & Heim, J. E. (2013). Development of a comprehensive virtual training package for power plant boiler. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE), 6 A. <https://doi.org/10.1115/IMECE2013-66570>

Li, X., Gao, Q., Zhang, Z., & Huang, X. (2012). Collaborative virtual maintenance training system of complex equipment based on immersive virtual reality environment. *Assembly Automation*, 32(1), 72–85. <https://doi.org/10.1108/01445151211198737>

Lin, C. L., Chen, S. J., & Lin, R. (2020). Efficacy of virtual reality in painting art exhibitions appreciation. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(9), 3012. <https://doi.org/10.3390/app10093012>

Liu, Y., Castronovo, F., Messner, J., & Leicht, R. (2020). Evaluating the Impact of Virtual Reality on Design Review Meetings. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(1), 04019045. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000856](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000856)

Lorenz, M., Spranger, M., Riedel, T., Pürzel, F., Wittstock, V., & Klimant, P. (2016). CAD to VR – A Methodology for the Automated Conversion of Kinematic CAD Models to Virtual Reality. *Procedia CIRP*, 41, 358–363. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2015.12.115>

Louison, C., Ferlay, F., Keller, D., & Mestre, D. (n.d.). Vibrotactile feedback for collision awareness. *Proceedings of the 2015 British HCI Conference*. <https://doi.org/10.1145/2783446>

Loures Brandão, G. V., Henriques do Amaral, W. D., Rabite de Almeida, C. A., & Barroso Castañón, J. A. (2018). Virtual reality as a tool for teaching architecture. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10919 LNCS, 73–82. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91803-7_6/TABLES/2

Lowood, H. E. (2022). virtual reality | computer science | Britannica. <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>

Machado, R. L., & Vilela, C. (2020). Conceptual framework for integrating BIM and augmented reality in construction management. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(1), 83–94. <https://doi.org/10.3846/JCEM.2020.11803>

Makhkamova, A., Exner, J.-P., Greff, T., & Werth, D. (2020). Towards a Taxonomy of Virtual Reality Usage in Education: A Systematic Review. In *Augmented reality and virtual reality* (pp. 283–296). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37869-1_23

- Margetis, G., Apostolakis, K. C., Ntoa, S., Papagiannakis, G., & Stephanidis, C. (2021). X-reality museums: Unifying the virtual and realworld towards realistic virtual museums. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/app11010338>
- Martin-Gutierrez, J., Molinero, M. A., Soto-Martín, O., & Medina, C. R. (2015). Augmented Reality Technology Spreads Information about Historical Graffiti in Temple of Debod. *Procedia Computer Science*, 75, 390–397. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.262>
- Meunier, L., Keller, D., & Guédon, P. (2018). Virtual Reality: Lessons learned from WEST design and perspectives for nuclear environment. *Fusion Engineering and Design*, 136, 1337–1341. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2018.05.004>
- Moloney, J., Globa, A., Wang, R., & Khoo, C. (2020). Principles for the application of mixed reality as pre-occupancy evaluation tools (P-OET) at the early design stages. *Architectural Science Review*, 63(5), 441–450. <https://doi.org/10.1080/00038628.2019.1675138>
- Montero, E. R. (2020). *Industria 4.0: Conceptos, tecnologías habilitadoras y retos*. Ediciones Pirámide.
- Moshell, M. (1993). Three views of virtual reality: virtual environments in the US military. *Computer*, 26(2), 81–82. <https://doi.org/10.1109/2.192003>
- Mulders, M., Buchner, J., & Kerres, M. (2020). A Framework for the Use of Immersive Virtual Reality in Learning Environments. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(24), 208–224. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.16615>
- Muñoz-Saavedra, L., Miró-Amarante, L., & Domínguez-Morales, M. (2020). Augmented and virtual reality evolution and future tendency. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1), 322. <https://doi.org/10.3390/app10010322>
- Mustapa, M. A. S., Ibrahim, M., & Yusoff, A. (2015). Engaging Vocational College Students through Blended Learning: Improving Class Attendance and Participation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 204, 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.08.125>
- Muther, R. (1965). *Distribución en planta* (No. TS155 M8e).
- Muther, R., & Rabada, C. C. (1981). *Distribución en planta*. Barcelona: Hispano Europea.
- Mütterlein, J. (2018). The three pillars of virtual reality? Investigating the roles of immersion, presence, and interactivity. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2018-Janua, 1407–1415. <https://doi.org/10.24251/hicss.2018.174>
- Naranjo, J. E., Lozada, E. C., Espín, H. I., Beltran, C., García, C. A., & García, M. V. (2018). Flexible Architecture for Transparency of a Bilateral Tele-Operation System implemented in Mobile Anthropomorphic Robots for the Oil and Gas Industry. *IFAC-PapersOnLine*, 51(8), 239–244. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.06.383>

- Nisha, B. (2019). The pedagogic value of learning design with virtual reality. *Educational Psychology*, 39(10), 1233–1254. <https://doi.org/10.1080/01443410.2019.1661356>
- Noghabaei, M., Heydarian, A., Balali, V., & Han, K. (2020). Trend Analysis on Adoption of Virtual and Augmented Reality in the Architecture, Engineering, and Construction Industry. *Data* 2020, Vol. 5, Page 26, 5(1), 26. <https://doi.org/10.3390/DATA5010026>
- Numfu, M., Riel, A., & Noel, F. (2019). Virtual reality based digital chain for maintenance training. *Procedia CIRP*, 84, 1069–1074. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.268>
- Obeid, S., & Demirkan, H. (2020). The influence of virtual reality on design process creativity in basic design studios. *Interactive Learning Environments*. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1858116>
- Pelliccia, L., Klimant, F., De Santis, A., Di Gironimo, G., Lanzotti, A., Tarallo, A., Putz, M., & Klimant, P. (2017). Task-based Motion Control of Digital Humans for Industrial Applications. *Procedia CIRP*, 62, 535–540. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2016.06.057>
- Pérez, F. J., Pujades, N. V., Picas, J. T., & Orus, X. E. (2004). El Pensamiento Gráfico, Un Proceso de Comunicación. In xiv Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.
- Pilia, A., Brun, C., Doceul, L., Gargiulo, L., Hatchressian, J. C., Keller, D., Le, R., Poli, S., & Zago, B. (2015). Application of virtual reality tools for assembly of WEST components: Comparison between simulations and physical mockups. *Fusion Engineering and Design*, 98–99, 1589–1592. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2015.06.168>
- Portman, M. E., Natapov, A., & Fisher-Gewirtzman, D. (2015). To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 376–384. <https://doi.org/10.1016/J.COMPENVURBSYS.2015.05.001>
- Quevedo, W. X., Sánchez, J. S., Arteaga, O., Marcelo, Á. V., Zambrano, V. D., Sánchez, C. R., & Andaluz, V. H. (2017). Virtual reality system for training in automotive mechanics. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10324 LNCS, 185–198. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5_14
- Ramírez Cadena, M. D. J., Macías Hidalgo, I., & Ibáñez Viruega, K. I. (2019). Integración vertical y horizontal.
- Randeniya, N., Ranjha, S., Kulkarni, A., & Lu, G. (2019). Virtual Reality Based Maintenance Training Effectiveness Measures - A Novel Approach for Rail Industry. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2019-June, 1605–1610. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2019.8781351>

Raposo, A., Corseuil, E. T. L., Wagner, G. N., Dos Santos, I. H. F., & Gattass, M. (2006). Towards the use of CAD models in VR applications. *Proceedings - VRCIA 2006: ACM International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications*, 67–74. <https://doi.org/10.1145/1128923.1128935>

Regazzoni, D., & Rizzi, C. (2013). Digital Human Models and Virtual Ergonomics to Improve Maintainability. *Computer-Aided Design and Applications*, 11(1), 10–19. <https://doi.org/10.1080/16864360.2013.834130>

Rojas-Sola, J.L, Fernandez-Sora, A., Serrano-Tierz, A., Hernandez-Díaz, D. (2011). Una revisión histórica: desde el dibujo en ingeniería hacia la ingeniería del diseño. *Dyna*, 78(167), 17-26.

Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), 177-191.

Rüppel, U., & Schatz, K. (2011). Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 600–611. <https://doi.org/10.1016/J.AEI.2011.08.001>

Ryan, M.-L. (2020). *Narrative as Virtual Reality 2*. In *Narrative as Virtual Reality 2* (Vol. 2). JHU Press. <https://doi.org/10.1353/book.72246>

Sachon, M. (2018). Los pilares de la industria 4.0. *Revista de Antiguos Alumnos del IESE*, 148.

Sagardia, M., Hertkorn, K., Hulin, T., Schätzle, S., Wolff, R., Hummel, J., Dodiya, J., & Gerndt, A. (2015). VR-OOS: The DLR's virtual reality simulator for telerobotic on-orbit servicing with haptic feedback. *IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2015-June*, 1–17. <https://doi.org/10.1109/AERO.2015.7119040>

Santamarina, M. C., Pérez, A. H., Cano, J. J., & Contero, M. (1995). *Distribución en planta*. Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones.

Sanz, F. Blanco J., *CAD-CAM, Gráficos, Animación y Simulación por Ordenador*, Thomson editores, 2002.

Schnabel, M. A. (2011). The Immersive Virtual Environment Design Studio. In *Collaborative Design in Virtual Environments* (Vol. 48, pp. 177–191). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0605-7_16

Schunk, D. H. (2012). Learning theories: An educational perspective. In *Reading* (Vol. 5). Pearson. [http://repository.umpwr.ac.id:8080/bitstream/handle/123456789/96/\[Dale_H._Schunk\]_Learning_Theories_An_Educational..pdf?sequence=1](http://repository.umpwr.ac.id:8080/bitstream/handle/123456789/96/[Dale_H._Schunk]_Learning_Theories_An_Educational..pdf?sequence=1)

Shao, X., Wei, X., & Liu, S. (2019). Research on aircraft virtual assembly technology based on gesture recognition. *Proceedings of 2019 IEEE 1st International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology, ICCASIT 2019*, 147–150. <https://doi.org/10.1109/ICCASIT48058.2019.8973210>

Shuell, T. J. (1986). Cognitive Conceptions of Learning. *Review of Educational Research*, 56(4), 411–436. <https://doi.org/10.3102/00346543056004411>

Siemens, G. (2004). Connectivism as a Learning Theory for the Digital Age. *Ekim*, 6, 1–9. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Connectivism%3A+A+learning+theory+for+the+digital+age&btnG=#d=gs_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3ArB2Pf_KIz-UJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Des

Skinner, B. F. (1989). The Origins of Cognitive Thought. *American Psychologist*, 44(1), 13–18. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.44.1.13>

Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603–616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>

Smith, M., Walford, N. S., & Jimenez-Bescos, C. (2019). Using 3D modelling and game engine technologies for interactive exploration of cultural heritage: An evaluation of four game engines in relation to roman archaeological heritage. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 14, e00113. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00113>

Smith, S., & Ericson, E. (2009). Using immersive game-based virtual reality to teach fire-safety skills to children. *Virtual Reality*, 13(2), 87–99. <https://doi.org/10.1007/s10055-009-0113-6>

Sol Rogers. (2019). Virtual Reality: THE Learning Aid Of The 21st Century. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/solrogers/2019/03/15/virtual-reality-the-learning-aid-of-the-21st-century/?sh=89bbf2e139b6>

Sossa Azuela, J. H. (2020). El papel de la inteligencia artificial en la Industria 4.0.

Soto-Martin, O., Fuentes-Porto, A., & Martin-Gutierrez, J. (2020). A Digital Reconstruction of a Historical Building and Virtual Reintegration of Mural Paintings to Create an Interactive and Immersive Experience in Virtual Reality. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 597, 10(2), 597. <https://doi.org/10.3390/APP10020597>

Stelzer, R., Steger, W., & Petermann, D. (2012). The VR session manager - A tool to coordinate a collaborative product development process in a virtual environment. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference, 2(PARTS A AND B)*, 1517–1525. <https://doi.org/10.1115/DETC2012-70998>

Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73–93. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>

Suárez, J. P., González, P. M., Martín, G., & García, M. (n.d.). Expresión Gráfica: Pasado, presente y futuro en el Diseño en la Ingeniería. Available online: <https://docplayer.es/53548935-Expresion-grafica-pasado-presente-y-futuro-en-el-diseno-en-la-ingenieria>.

Suh, A., & Prophet, J. (2018). The state of immersive technology research: A literature analysis. *Computers in Human Behavior*, 86, 77–90. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.04.019>

Tang, Y., & Gu, H. (2010). CAD model's simplification and conversion for virtual reality. *ICIC 2010 - 3rd International Conference on Information and Computing*, 4, 265–268. <https://doi.org/10.1109/ICIC.2010.338>

Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 157–169. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>

Tian, F., Wang, P., Dong, C. Y., Gao, J., Tang, H., Qian, L., & Xu, H. (2017). 3D design tools for equipment manufacturing and exhibition based on internet. *ICALIP 2016 - 2016 International Conference on Audio, Language and Image Processing - Proceedings*, 40–46. <https://doi.org/10.1109/ICALIP.2016.7846539>

Ummihusna, A., & Zairul, M. (2022). Investigating immersive learning technology intervention in architecture education: a systematic literature review. In *Journal of Applied Research in Higher Education* (Vol. 14, Issue 1, pp. 264–281). Emerald Group Holdings Ltd. <https://doi.org/10.1108/JARHE-08-2020-0279>

Upadhyay, A. K., & Khandelwal, K. (2018). In the age of e-learning: application and impact of augmented reality in training. *Development and Learning in Organizations: An International Journal*, 32(5), 19–22. <https://doi.org/10.1108/DLO-04-2018-0041>

Van Oosterhout, J., Heemskerk, C. J. M., Boessenkool, H., De Baar, M. R., Van Der Helm, F. C. T., & Abbink, D. A. (2019). Haptic Assistance Improves Tele-Manipulation With Two Asymmetric Slaves. *IEEE Transactions on Haptics*, 12(2), 141–153. <https://doi.org/10.1109/TOH.2018.2873350>

Vieira, C. B., Seshadri, V., Oliveira, R. A. R., Reinhardt, P., Calazans, P. M. P., & Vieira Filho, J. B. (2017). Applying virtual reality model to green ironmaking industry and education: 'a case study of charcoal mini-blast furnace plant.' *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 126(1–2), 116–123. <https://doi.org/10.1080/03719553.2016.1278516>

Vincent, H., Benoit, J., Xavier, S., & David, B. (2017). Inoovas - Industrial ontology for operation in virtual and augmented scene: The architecture. 2017 4th International

Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2017, 2017-January, 300–305. <https://doi.org/10.1109/CODIT.2017.8102608>

Walsh, K. R., & Pawlowski, S. D. (2002). Virtual Reality: A Technology in Need of IS Research. *Communications of the Association for Information Systems*, 8, 297–313. <https://doi.org/10.17705/1cais.00820>

Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H. L., & Wang, X. (2018). A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 15, Issue 6, p. 1204). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061204>

What Approach Are German Companies Taking in the New Age? (2019). www.studie-digitalisierung.de/en

Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225–240. <https://doi.org/10.1162/105474698565686>

Wittstock, V., Lorenz, M., Pürzel, F., & Riedel, T. (2014). Immersive Presentations: Enabling Engaging Virtual Reality Based Training and Teaching by Merging Slide-Based and VR-Based Elements. In *Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability* (pp. 125–130). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02054-9_21

Wu, T. H., Wu, F., Liang, C. J., Li, Y. F., Tseng, C. M., & Kang, S. C. (2019). A virtual reality tool for training in global engineering collaboration. *Universal Access in the Information Society*, 18(2), 243–255. <https://doi.org/10.1007/S10209-017-0594-0/TABLES/4>

Yan, W., Culp, C., & Graf, R. (2011). Integrating BIM and gaming for real-time interactive architectural visualization. *Automation in Construction*, 20(4), 446–458. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2010.11.013>

Yang, X., Shu, L., Chen, J., Ferrag, M. A., Wu, J., Nurellari, E., & Huang, K. (2021). A Survey on Smart Agriculture: Development Modes, Technologies, and Security and Privacy Challenges. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 8(2), 273–302. <https://doi.org/10.1109/JAS.2020.1003536>

Yang, Y. F., Yang, P., Li, J., Zeng, F., Yang, M., Wang, R., & Bai, Q. (2019). Research on virtual haptic disassembly platform considering disassembly process. *Neurocomputing*, 348, 74–81. <https://doi.org/10.1016/J.NEUCOM.2018.05.120>

Yashin, G. A., Trinitatova, D., Agishev, R. T., Ibrahimov, R., & Tsetserukou, D. (2019). AeroVr: Virtual reality-based teleoperation with tactile feedback for aerial manipulation. 2019 19th International Conference on Advanced Robotics, ICAR 2019, 767–772. <https://doi.org/10.1109/ICAR46387.2019.8981574>

Yeom, D., Choi, J. H., & Kang, S. H. (2019). Investigation of the physiological differences in the immersive virtual reality environment and real indoor environment: Focused on skin temperature and thermal sensation. *Building and Environment*, 154, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.013>

YILDIRIM, F. S. (2020). The Effect Of The Augmented Reality Applications In Science Class On Students' Cognitive And Emotional Learning. *Journal of Education in Science, Environment and Health*, 6(4), 259–267. <https://doi.org/10.21891/jeseh.751023>

Yin, X., Gu, Y., Qiu, S., & Fan, X. (2015). VR&AR Combined Manual Operation Instruction System on Industry Products: A Case Study. *Proceedings - 2014 International Conference on Virtual Reality and Visualization, ICVRV 2014*, 65–72. <https://doi.org/10.1109/ICVRV.2014.55>

Zhang, C., & Chen, B. (2019). Enhancing Learning and Teaching for Architectural Engineering Students using Virtual Building Design and Construction. *Higher Education Studies*, 9(2), 45–56. <https://doi.org/10.5539/hes.v9n2p45>

Zollmann, S., Langlotz, T., Grasset, R., Lo, W. H., Mori, S., & Regenbrecht, H. (2021). Visualization Techniques in Augmented Reality: A Taxonomy, Methods and Patterns. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 27(9), 3808–3825. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.2986247>

Referencias para la formación:

De la Dueña, J. M. (2011). Manual para la creación de videojuegos mediante el motor Unreal Development Kit. *Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid*.

https://unavdocs.files.wordpress.com/2010/10/diego_mas_distribucion_en_planta.pdf

<https://www.geospatialworld.net/prime/case-study/national-mapping/virtual-singapore-building-a-3d-empowered-smart-nation/>

<https://www.ryme.com/categoria-producto/maquinaria-inspeccion-tecnica-de-vehiculos/>

https://www.youtube.com/watch?v=2X_dbvKyeXk&ab_channel=LuisSubiabre

https://www.youtube.com/watch?v=4wQ5zkZhpG4&ab_channel=Cocinando3D

https://www.youtube.com/watch?v=ABKvmq9Kr7Y&ab_channel=SAKIISenpai

https://www.youtube.com/watch?v=G3ESNyUBiIM&ab_channel=KayraNorth

https://www.youtube.com/watch?v=G3ESNyUBiIM&ab_channel=KayraNorth

https://www.youtube.com/watch?v=jSBvXKCaAjQ&ab_channel=NerdyUnrealDev

https://www.youtube.com/watch?v=sKe1DWkuW0I&t=2s&ab_channel=KayraNorth

https://www.youtube.com/watch?v=v2IMCHYBLPs&ab_channel=hawaiifilmschool

https://www.youtube.com/watch?v=ye7JyQHnTy8&t=355s&ab_channel=FranciscoVegaR.

https://www.youtube.com/watch?v=YQxz9j5ewcs&ab_channel=PIXELSCHOOL3D

Normativa ITV:

MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES I.T.V. Versión 7.1.1. 01/06/2021.