UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

TRABAJO DE GRADO

Presentado por:

Andrés Felipe PUENTES GONZÁLEZ

Para obtener el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

Tema del proyecto:

PROPUESTA PARA LA INTEGRACIÓN ENTRE UN MODELO DE INFORMACIÓN DE CONSTRUCCIÓN CON TECNOLOGIA HABILITADORA DE LA INDUSTRIA 4.0 PARA LA GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA DE PRODUCTO EN MUEBLES PARA OFICINA

(PROPOSAL FOR THE INTEGRATION BETWEEN A BUILDING INFORMATION MODELING WITH ENABLING TECHNOLOGY OF INDUSTRY 4.0 FOR THE MANAGEMENT OF THE PRODUCT LIFE CYCLE IN OFFICE FURNITURE)

Sustentada de manera pública el día 15 de octubre de 2021, con la comisión de evaluación compuesta por:

PhD. Julián Alfonso TRISTANCHO ORTIZ (Director del proyecto)
Ing. Jose Ignacio RODRIGUEZ MOLANO (Jurado)

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Carrera 7 No. 40B - 53
Bogotá D.C. - República de Colombia
Facultad de Ingenieria, Proyecto Curricular de Ingenieria Industrial

DIMSI
Diseño, Modelamiento y Simulación

Agradezco a Dios quien me permitió vivir esta etapa de mi vida dentro de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, a mi profesor director por su apoyo incondicional y su guía. También le agradezco a mi familia, y en especial a mis padres por el apoyo emocional y psicológico que día a día me permitió continuar y llevar a buen término este trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen viii
Abstract x
Capítulo 1 Planteamiento del proyecto 12
1 Introducción 12
2 Formulación del problema 13
3 Justificación 14
4 Objetivos 15
4.1.1 Objetivo principal 15
4.1.2 Objetivos específicos 15
5 Metodologia 18
6 Plan de trabajo 19
Capítulo 2 Marco teorico y referencial 20
1. Introducción 20
2. Sector de muebles en Colombia 21
2.1 Industria nacional y perspectiva frente al mercado internacional 25
2.2 Descripción de la industria 27
2.2.1 Diseño del proyecto 27
2.2.2 Selección de materia prima 28
2.2.3 Proceso genérico de transformación de materia prima 28
2.2.4 Proceso de distribución e instalación 31
2.3 Procesos empleados actualmente para la transformación de los muebles una vez han cumplido su ciclo de vida 31
2.4 Economía circular y remanufacturación 32
2.5 Los sistemas producto-servicio en la industria de muebles para oficina 33
2.5.1 Sistema producto-sevicio 33
2.5.2 Sistema producto-servicio aplicado a la industria de muebles para oficina 34
3. Diseño de oficina abierta 35
3.1.1 Diseño de oficina abierta y productividad organizacional 36

3.1.2 Elementos a considerar para el diseño de oficina abierta 37
4. Industria 4.0 43
4.1 Herramientas habilitadoras de la industria 4.0 44
4.1.1 Internet de las cosas 45
4.1.2 Building Information Modeling (BIM) 47
4.1.3 Gemelos digitales 55
Capítulo 3 Desarrollo metodológico 62
1 Introducción 62
2 BIM aplicado a la industria de muebles para oficina abierta 63
3 Habilitadora de la industria 4.0 en el ciclo de vida de proyectos de muebles para oficina abierta .. 65
4 Software *OffiCAD* 68
4.1 Diseño Asistido por Computadora (Computer Aided Design) 68
4.2 Condiciones generales del software *OffiCAD* 70
4.2.1 Análisis DOFA de la herramienta *OffiCAD* 72
5 Orden de producción 76
5.1 Sistema de producción 76
6 Instalación de muebles modulares 82
6.1 Preparación de materiales y herramientas 82
6.2 Transporte de elementos 83
6.3 Replanteo de la instalación de los elementos 83
6.4 Ubicación del mobiliario en el lugar previsto 84
6.5 Fijación de muebles y elementos 84
6.6 Preparación final del mobiliario 84
7 Propuesta de un marco de trabajo enfocado al proceso de instalación para empresas ofertantes de proyectos de amueblamiento modular 89
7.1 Diseño axiomático 90
7.2 Modelo virtual 92
7.3 Modelo físico 93
7.3.1 Fotogrametría 94
7.4 Entorno digital sustentado en realidad aumentada 98
7.5 Información en nube 100

Conclusiones 105
Referencias..... 107
Anexo 1 Estructura y funcionamiento de *OffiCAD*..... 113
Interfaz de trabajo de *OffiCAD*..... 113
Especificaciones de productos en *OffiCAD* 117
Anexo 2 Herramienta *Comparar DWG de AutoCAD*..... 121

TABLA DE FIGURAS

***Figura 1**. Participación de los diferentes ítems en el sector de muebles en Colombia* 22
***Figura 2**. Proceso de transformación de materia prima en la empresa Mobel Línea* 29
***Figura 3**. Etapas genéricas del proceso de fabricación de muebles para oficina abierta* 30
***Figura 4**. Factores que afectan la productividad organizacional* 36
***Figura 5**. Formas en las que se perturba el sonido en un entorno de trabajo bajo diseño de oficina abierta.* 38
***Figura 6**. Problemáticas de geometría referentes a la iluminación.* 40
***Figura 7**. Revoluciones industriales en la historia* 43
***Figura 8**. Visión del internet de las cosas* 46
***Figura 9**. Modelo de coordinación proyecto bloque D Aduanilla de Paiba de la Universidad Distrital* 48
***Figura 10**. Producto final de la Incubadora de la Universidad Macquarie en Australia* 52
***Figura 11**. Diseño computacional de la Incubadora de la Universidad Macquarie en Australia* 52
***Figura 12**. Ejemplo de proyectos gestionados por Flexiform* 53
***Figura 13**. Interfaz de trabajo (Izquierda) y hoja de trabajo (Derecha) de 2020 Cap* 54
***Figura 14.** Composición de un Gemelo Digital en una línea de producción* 57
***Figura 15**. Modelo 3D de la estructura a analizar* 59
***Figura 16**. Resultados de deformación en el gemelo digital para una carga centrada de 100 Kg* 59
***Figura 17**. Sistema Festo MPS PA 204* 60
***Figura 18**. Ejemplo de la planta virtual de filtración, gemelo digital de la planta real de filtración* 60
***Figura 19.** Representación virtual de la planta real de refrescos (Gemelo Digital)* 61
***Figura 20**. Red bibliométrica "BIM and Office Furniture"* 64
***Figura 21**. Algunas herramientas de la industria 4.0* 65
***Figura 22**. Estructura de funcionamiento de OffiCAD* 72
***Figura 23**. Flujo de información entre el cliente-empresa y empresa-área de producción* 78
***Figura 24**. Elaboración en fábrica de algunos elementos para un proyecto de mobiliario para oficina* 83
***Figura 25**. Proceso de instalación* 86
***Figura 26**. Vinculo entre requerimientos y tecnología* 92
***Figura 27**. Relación entre las diferentes variables en fotogrametría* 95

***Figura 28**. Método de intersección directa en fotogrametría* 96
***Figura 29**. Marco de trabajo propuesto* 103
***Figura 30**. Barra de herramientas de AutoCAD en donde se puede visualizar OffiCAD* 114
***Figura 31**. Interfaz de herramientas para el uso de OffiCAD*..... 115
***Figura 32**. Interfaz gráfica conjunta (AutoCAD y OffiCAD), especificando información de sillas sección "Gerencia Pain" (Información al costado izquierdo de la imagen)* 116
***Figura 33**. Cotización, geometría y orden de producción de un proyecto en OffiCAD (Respectivamente de izquierda a derecha)*..... 116
***Figura 34**. Ejemplo de configuración de escritorios (Escritorio rectangular de 60x75 cm en material fórmica a la izquierda y escritorio de cómputo de 120x120 cm en material fórmica a la derecha)* 118
***Figura 35**. Ejemplo de configuración de mesas auxiliares (Mesa retorno de 60x90 cm en material fórmica a la izquierda y mesa auxiliar curvo de 90x180 cm en material fórmica a la derecha)* 119
***Figura 36**. Ejemplo de configuración de panel: panel tipo conexión en T con dimensión de 150 cm en lámina plana y blanco mate.*..... 120
***Figura 37**. Apertura del primer dibujo DWG* 121
***Figura 38**. Uso de la herramienta Comparar DWG* 122
***Figura 39**. Comparación de objetos en dibujos DWG* 122

TABLA DE GRÁFICAS

***Gráfica 1**. Variación porcentual de los ingresos de la producción industrial años 2019, 2020 y primer trimestre de 2021* 24
***Gráfica 2**. Variación porcentual mes a mes de la producción industrial para el año 2019* 25
***Gráfica 3**. Coeficiente técnico Insumo-Producto para la industria de muebles para oficina periodo 2010-2019*..... 26
***Gráfica 4**. Costos de sistemas hidrosanotario y red contraincendios sin coordinación y con coordinación Bloque D Aduanilla de Paiba Universidad Distrital*..... 50
***Gráfica 5**. Estructura de un sistema de producción*..... 77
***Gráfica 6**. Diagrama de flujo proceso elaboración proyecto de oficina abierta*..... 79
***Gráfica 7**. Diagrama de flujo proceso instalación*..... 85

LISTA DE TABLAS

.***Tabla 1***. *Localización de objetivos específicos en el trabajo* 17

Tabla 2. *Cronograma de trabajo*..... 19

Tabla 3.*Listado de empresas de muebles de oficina a nivel regional*..... 23

Tabla 4. *Listado de empresas de muebles de oficina a nivel nacional* 23

Tabla 5. *Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire.* 39

Tabla 6. *Categorías del producto según conectividad y tecnología.*..... 67

Tabla 7. *Matriz DOFA herramienta OffiCAD*..... 75

Tabla 8. *Matriz DOFA orden de producción* 81

Tabla 9. *Matriz DOFA proceso de instalación* 88

Resumen

La economía nacional colombiana se sustenta, mayormente, por empresas PYMES (pequeñas y medianas empresas) que son, aproximandamente, el 90% del sector productivo nacional, por lo que vitalizar este tipo de organizaciones se traduce en vitalizar la economía nacional. El problema sustancial que atañe este documento radica en la falta de vinculación de las PYMES ofertantes de muebles para oficina aierta con herramientas habilitadoras de la industria 4.0 como mecanismo para convertirlas en empresas mas eficientes durante todo el ciclo de vida de un proyecto de amueblamiento modular.

La industria 4.0 ofrece una lista de herramientas tecnológicas que facilitan la gestión de los proyectos y la gestión organizacional (Business Intelligent, Big Data, Realidad Aumentada, Ciencia de Datos, Gemelos Digitales, Internet de las Cosas, entre otras), herramientas que, vinculadas a las necesidades de las pequeñas y medianas empresas, mejorarían la forma de planear y ejecutar los diferentes requerimientos del cliente.

Este estudio se enfocó, principalmente, a contextualizar el mercado de muebles para oficina abierta y las diferentes herramientas habilitadoras de la industria 4.0 y proponer un marco de trabajo que permitiera a las empresas del sector de amueblamiento modular, el uso de la tecnología para la gestión de la etapa de diseño y de la etapa de instalación de los proyectos demandados, disminuyendo posibles errores a la hora de producir los elementos del proyecto y que estos no coincidieran con los requerimientos propios del espacio de trabajo. Como resultado se obtuvo una propuesta de integración entre software especializado para el diseño (software CAD, particularmente, *OffiCAD y AutoCAD*) y la etapa de instalación que, apoyada por principios de fotogrametría, realidad aumentada y captación de información por sensores, y enmarcadas en el concepto de gemelo digital, vincula los requerimientos de espacio reales con el diseño generado en etapa inicial del proyecto, mejorando la estructura

arquitectónica inicial y vinculando la información actualizada a la generación de informes de cotización y ordenes de producción mas realistas.

El primer capitulo de este documento presenta la razón de su realización, las causas que sustentaron la investigación y los objetivos que se espera lograr. El capitulo 2 presenta la contextualización del sector de muebles en Colombia, los elementos teóricos del diseño de proyectos de amueblamiento modular, algunos conceptos desarrollados actualmente referente al uso de los proyectos una vez finaliza el ciclo de vida de los mismos y contextualización de algunas herramientas habilitadoras de la industria 4.0 con algunos casos prácticos. El tercer capitulo presenta la propuesta integradora entre la etapa de diseño y la etapa de instalación de proyectos del sector para la mejora en el rendimiento y productividad de las PYMES. Finalmente, se presentan conclusiones y referencias blbiográficas, junto con anexos del documento que complementan lo expuesto en este.

Abstract

The Colombian National economy is mainly supported by SMEs (small and medium-size enterprises), which account for approximately 90% of the national productive sector. The substantial problem that concerns this document lies in the lack of linkage of SMEs offering office furniture for aerated office with enabling tools of Industry 4.0 as a mechanism to turn them into more efficient companies during the entire ife cycle of a modular furniture Project.

Industry 4.0 offers a list of technological tools that facilitate Project management and organizational management (Business Intelligent, Big Data, Augmented Reality, Data Science, Digital Twins, Internet of Things, among others), tools that, linked to the needs of small and medium-sized companies, would improve the way to plan and execute the different customer requirements.

This study focused mainly on contextualizing the open office furniture Market and the different enablings tools of Industry 4.0 and propising a framework that would allow companies in the modular furniture sector to use technology for the management of the design and installation phases of the projects requested, reducing posible errors in the production of the Project elements and that these did not coincide with the specific requirement of the workspace. The result was a proposal for integration between specialized software for design (CAD software, particulary *OffiCAD* and AutoCAD) and the installation phase, which, supported by the principles of photogrammetry, augmented reality and sensor information capture, and framed by the concept of digital twin, links the actual space requirements with the design generated at the Initial stage of the project, better the Initial architectural Structure and linking the updated information to the generation of more realistic quotation reports and production orders.

The First chapter of this paper presents the reason for its implementation, te causes that underpinned the research and the objetives that are expected to be achieved. Chapter 2 presents the contextualization of the furniture sector in Colombia, the theoretical elements of the design of modular furniture projects, some concepts currently developed regarding the use of projets once their life cycle ends and contextualization of some enabling tools of Industry 4.0 withsome practical cases. The third chapter presents the proposal for integrating the design and installation phases of projects in the sector

to improve the performance and productivity of SMEs. Finally, conclusions and biographical references are presented, together with appendices to the document that complement what is stated in this document.

Capítulo 1 Planteamiento del proyecto

1 Introducción

Las organizaciones hoy en día se encuentran cada vez más inmersas en los avances tecnológicos que conlleva la cuarta revolución industrial, demandando soluciones que incentiven la visión holística de sus actividades, a la vez que mejoren la eficiencia de planeación, ejecución y control de sus procesos, sin perder la rentabilidad adquirida y buscando niveles de competitividad cada vez mayores como consecuencia de la globalización. Ciudades inteligentes, sistemas automatizados en su totalidad, herramientas computacionales con niveles de procesamiento antes no pensados, hoy día dejan de ser una utopía para convertirse en realidad gracias a los avances tecnológicos de la computación, el análisis de la información y la mejora de los procesos.

El sector de muebles para oficina abierta no queda exento de esta necesidad y demanda tecnológica, pues etapas como el diseño, traslado, instalación y verificación funcional del proyecto requieren de actividades ágiles, eficientes, que disminuyan la estructura de costos, tiempos y esfuerzo, a la vez que garanticen niveles cada vez más altos de calidad y cumplimiento de requerimientos técnicos y del cliente. El coeficiente técnico insumo-producto es una forma de medir la eficiencia de una actividad económica en particular y definir qué tan bien utiliza sus recursos: la disminución del coeficiente tecnológico del sector en el que se encuentra inmerso las empresas ofertantes de muebles para oficina abierta es notoria y se concluye que, aunque sus ventas presentan pendiente negativa, el uso de los

recursos es cada vez mejor. No obstante, la entrada de competidores multinacionales al mercado local ha incentivado a las PYMES a mejorar la forma en que realizan sus actividades y prestan sus servicios, todo ello con el fin de no perder mercado frente a organizaciones extranjeras.

Una propuesta que busca la integración de información durante la etapa de diseño de un proyecto de amueblamiento modular con la generación automática de informes internos (orden de producción) y externos (cotización) es la herramienta *OffiCAD,* la cual se acopla con software CAD de bajo costo, permitiendo el acceso rentable a las PYMES del sector, y ofreciendo mejoras significativas en la gestión del proceso.

Este trabajo tiene la finalidad de proponer un diseño en forma de marco de trabajo para las empresas del sector de amueblamiento modular en PYMES, integrando conceptualmente la etapa de diseño como modelo virtual del proyecto y la instalación del mismo como modelo físico en desarrollo, a su vez que se posibilita, con ayuda de tecnologías facilitadoras de la industria 4.0, la mejora del flujo de información para las respectivas correcciones presentadas como consecuencia entre la brecha de planeación-ejecución, reduciendo esfuerzos, tiempos y recursos técnicos y humanos como impacto positivo.

2 Formulación del problema

¿Cómo integrar el Modelado de la Información de Construcción (BIM[1]) con alguna de las tecnologías habilitadoras de la industria 4.0 en la gestión del ciclo de vida de los productos ofertados por las PYMES de la industria de muebles de oficina de la ciudad de Bogotá-Colombia para la oferta de un servicio íntegro en fase de venta?

[1] Building Information Modeling

3 Justificación

Las PYMES colombianas representan el 80% de los empleos nacionales y cerca del 90% del sector productivo, según el Instituto Nacional de Contadores Públicos (INCP), razón por la cual se puede considerar a la nación como un país movido económicamente por pequeñas y medianas empresas. Apoyada en dos criterios (valor de los activos y número de empleados), la ley 905 de 2004 define a las PYMES como un conjunto de microempresas (un número máximo de 10 empleados con activos inferiores a 500 smlmv, excluida la vivienda), pequeñas empresas (Desde 11 hasta 50 empleados y activos entre 501 y 5000 smlmv) y medianas empresas (desde 51 hasta 200 empleados y activos entre 5001 y 30000 smlmv), consolidando así, un total de 1.5M de empresas en el RUES (Registro Único Empresarial) para Junio de 2018.

Building Information Modeling (BIM) es una metodologia que permite trabajar en diversas áreas de un proyecto de forma simultánea en todas las etapas del mismo, permitiendo la obtención en tiempo real de información relevante para la toma de decisiones [1]. En comparación con el proceso tradicional de construcción, en donde los proyectos se desarrollan con departamentos que trabajan de forma independiente y en paralelo, dificultando la interacción y aumentando en muchos casos los errores en las diferentes etapas, BIM presenta un alto impacto en las etapas de prediseño y diseño esquemático del proceso, etapas en donde los costos de cambio de diseño son bajos y el impacto en la capacidad funcional es alto (en el proceso tradicional, el impacto mayor se presenta cuando el costo de cambio de diseño es alto y el impacto en capacidad funcional es bajo), perfilando a la metodología BIM como una solución que reduce, no solo costos en el proyecto, sino también reducción en los errores en etapa de operación, siendo una metodología más eficiente y con visión holísitica, en comparación con la forma tradición de hacer ingeniería. En términos prácticos, BIM permite ahorrar, si su uso se hace de forma correcta, entre un 5% y un 12% en los costos de los proyectos de ingeniería [2].

BIM facilita a la red de interesados de un proyecto, el recorrido a cualquier sector del diseño con un nivel de realismo que permite la toma de decisiones en etapa prediseño y diseño esquemático referentes a uso de material y condiciones paramétricas del mismo, reduciendo el tiempo en corrección

de errores en etapa de operación e instalación; la planificación y coordinación se convierten en etapas ágiles de ejecución gracias a la integración de información propuesta por BIM [2].

Referente a proyectos para oficina abierta, BIM permite consolidar la información geométrica y técnica de los elementos relacionados en la etapa de diseño de amueblamiento modular, gestionando una base de datos de los diferentes objetos vinculados al diseño que se utilizan en etapas de producción e instalación. En el proceso tradicional, la identificación de sistemas eléctricos, por ejemplo, es más compleja, impidiendo el ajuste adecuado de los elementos en sus respectivos espacios definidos, por lo que el proyecto se retrasa y causa uso adicional de tiempo, presupuesto y recurso humano [3]. BIM mejora la precisión técnica de un proyecto de amueblamiento modular, aumentando la certeza de especfiicaciones de espacio, complementos y anclaje, al igual que de orientación que permitan el uso adecuado de los recursos.

4 Objetivos

4.1.1 Objetivo principal

Proponer un marco de trabajo que permita la integración entre el Modelado de la Información de Construcción (BIM, por sus siglas en inglés) de un proyecto de muebles para oficina abierta en PYMEs regionales (Bogotá-Colombia) y la etapa de instalación del proyecto usando tecnología(s) habilitadoras para la industria 4.0.

4.1.2 Objetivos específicos

- Realizar una investigación bibliográfica y documental sobre la industria de muebles para oficina abierta en el contexto nacional-regional, priorizando su comportamiento económico, funcionamiento general y las condiciones para necesarias para el diseño e instalación de proyectos dentro de la industria.

- Establecer conceptos principales y estructurales del funcionamiento general del Modelado de la Información de Construcción, así como su aplicabilidad en el sector de muebles para oficina abierta.
- Definir los elementos característicos de la industria 4.0 y, en forma particular, de los Gemelos Digitales como herramienta que permita la gestión del ciclo de vida de los productos de muebles para oficina abierta.
- Generar un marco de trabajo conceptual que permita la integración de la información generada por el software un software de diseño BIM como es *OffiCAD* y la etapa de instalación de proyectos de muebles para oficina abierta, facilitando la gestión y corrección de especificaciones técnicas en tiempo real, que se vean reflejadas en el diseño, cotización y orden de producción.

No.	Objetivo específico	Localización	Descripción de cumplimiento
1	Realizar una investigación bibliográfica y documental sobre la industria de muebles para oficina abierta en el contexto nacional, priorizando su comportamiento económico, funcionamiento general y las condiciones para necesarias para el diseño e instalación de proyectos dentro de la industria.	Capítulo 2.2	Se logró identificar la tendencia decreciente del sector industrial en cuanto a ingresos, sin embargo, también se evidenció la tendencia decreciente del ceficiente técnico insumo-producto como consecuencia de un mejor uso de recursos para la elaboración de muebles.
2	Establecer conceptos principales y estructura de funcionamiento general del Modelado de la Información de Construcción, así como su aplicabilidad en el sector de muebles para oficina abierta.	Capitulo 2.4.1.2 y Capitulo 3.2	Se estableció el concepto de BIM como metodología y se mostró, a través de las diferentes bases de datos y con ayuda de la herramienta VOSviewer, el uso de BIM en la industria de muebles en cuanto al diseño y construcción de instalaciones empresariales, no una aplicación de éste en los proyectos generados por la industria, salvo propuesta en la gestión de diseño de los productos propios de la actividad económica.
3	Definir los elementos característicos de la industria 4.0 y, en forma particular, de los Gemelos Digitales como herramienta que permita la gestión del ciclo de vida de los productos de muebles para oficina abierta.	Capítulo 2.4 y Capítulo 3.3	Se definió el concepto de gemelo digital dentro de una definición general de la industria 4.0 y sus habilitadoras, a la vez que se establecieron las principales caracterísiticas que perfilan a un Digital Twin como herramienta para gestionar las diversas etapas de un proyecto.
4	Generar un marco de trabajo conceptual que permita la integración de la información generada por el software OffiCAD y la etapa de instalación de proyectos de muebles para oficina abierta, facilitando la gestión y corrección de especificaciones técnicas en tiempo real, que se vean reflejadas en el diseño, cotización y orden de producción	Capitulo 3	Se estableció un marco de trabajo conceptual que deja en evidencia la necesidad de gestionar la etapa de instalación de un proyecto de amueblamiento modular con agilidad, permitiendo disminuir tiempos, costos y recurso humano. El apoyo que se propone viene dado por la concepción de un modelo virtual la etapa de diseño y un modelo físico la etapa de instalación en desarrollo.

.***Tabla 1****. Localización de objetivos específicos en el trabajo*

Fuente*: Elaboración propia*

5 Metodologia

El primer acercamiento para el desarrollo del trabajo propuesto se realiza en la construcción del marco conceptual, en donde se pretende establecer características y especificaciones del concepto de industria 4.0 y de las tecnologías facilitadoras como Gemelos Digitales e Internet de las Cosas, a la par con el desarrollo del concepto de metodología BIM (Building Information Modeling) y la industria de muebles para oficina abierta en Colombia a través de la búsqueda en bases de datos como Science Direct, SpringerLink, Scopus, Web of Science, EBSCO, Britannica Enciclopedia Moderna y demás herramientas de búsqueda proporcionadas por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. La principal motivación para la realización de un trabajo conceptual como este radica en las condiciones sanitarias presentadas durante el desarrollo del mismo a causa del surgimiento del Covid-19, que limitó el acercamiento por parte del autor a la industria.

En concordancia con el objetivo del proyecto, se establece la caracterización de un software CAD que permite integrar la etapa de diseño de amueblamiento modular con la información geométrica y técnica de los objetos utilizados para tal fin; este acercamiento se realiza a través de la interacción propia entre el autor y el software, facilitando su entendimiento gracias al asesoramiento de una persona experta en su uso. Se establece, además, el proceso de instalación de muebles para oficina abierta, caracterizando las etapas que lo componen y los factores relevantes en dichas etapas. La propuesta de integración se propone a partir de los conocimientos adquiridos en esta investigación, así como el desarrollo crítico del autor con el fin de generar una ruta encaminada a la mejora continua de las actividades de las PYMEs nacionales relacionadas con el sector de muebles para oficina abierta.

6 Plan de trabajo

En la Tabla 2 se presenta el cronograma que dio lugar a la elaboración del presente trabajo, consolidando los momentos importantes con su correspondiente duración temporal.

No.	Actividad	Meses							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Semanas							
		1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
1	Revisión bibliográfica del comportamiento económico del sector de muebles para oficina en Colombia								
2	Revisión bibliográfica de los elementos a considerar para el diseño de oficina abierta								
3	Revisión Bibliométrica del Modelado de la Información de la Construcción (BIM)								
4	Revisión bibliográfica de la industria 4.0 y herramientas habilitadoras								
5	Caracterización y análisis de estructura y funcionamiento de OffiCAD								
6	Caracterización del proceso de instalación de amueblamiento modular								
7	Diseño propuesta de integración								
8	Redacción de informe final								

***Tabla 2**. Cronograma de trabajo*

***Fuente**: Elaboración propia*

Capítulo 2 Marco teorico y referencial

1. Introducción

Una oficina de diseño abierto es un espacio sin limitaciones de techo dividida en cubículos o estaciones de trabajo por paneles, amueblado con un conjunto de muebles modulares [4]. La característica principal de este diseño de oficina radica en paredes y puertas con altura inferiores a los diseños tradicionales, que permiten un mejor uso del espacio y una mayor capacidad para un flujo adecuado de la información entre las personas. El propósito de este capitulo es establecer una caracterización del funcionamiento económico y técnico del sector de muebles para oficina en Colombia y en paralelo, brindar las herramientas conceptuales necesarias para entender los avances ingenieriles en el área de la gestión de información y el modelado de construcción dentro del marco de la industria 4.0 y como éstos pueden ser útiles en la mejora continua de la industria en cuestión.

Este capítulo se divide en cuatro partes principales: la primera parte presenta una descripción del sector de muebles en Colombia, a la vez que da a conocer las ciudades con mayor impacto en el sector dentro del país y una mirada de su competitividad frente al mercado internacional. En la segunda parte se explica el funcionamiento de la industria, desde el diseño preliminar y las herramientas principalmente usadas, hasta la disposición final y el uso que se les da a los muebles una vez finalizan su ciclo de vida y algunas propuestas para la gestión pensada en la sostenibilidad; la descripción de la instalación de proyectos referentes a muebles para oficina abierta se presenta en el siguiente capítulo. La tercera parte presenta las consideraciones generales a tener en cuenta

cuando se desea implementar una oficina abierta, considerando factores acústicos, términos, ventilación e iluminación. La cuarta parte presenta una descripción de la industria 4.0, sus características principales y se detallan elementos del Modelado de la Información de la Construcción (BIM por sus siglas en inglés) y de los Gemelos Digitales como herramientas que se perfilan para potenciar las cualidades del sector de muebles para oficina abierta.

2. Sector de muebles en Colombia

El sector de muebles en Colombia es un sector fluctuante, presentando picos y valles en su producción como consecuencia de demandas variables; para el 2012, se generaron cifras de $2.29 billones de pesos, para el 2013 esta cifra descendió a $1.7 billones de pesos, para el 2014 y 2015, dicha producción no superó ese umbral, ya para el 2016 la cifra ascendió a $1.74 billones de pesos, según cifras generadas por el DANE tras la encuesta anual manufacturera en el periodo 2010-2016 [5].

Siguiendo con el mismo periodo de estudio, la empleabilidad ascendía a 24.402 personas para el 2012, mientras que para el 2016, esta cifra descendió a 18.300 personas, continuando con la tendencia en descenso de la producción en dicho periodo. A su vez, el número de establecimientos que ofertaban los productos del sector disminuyeron de 515 para el 2010 a 335 para el 2016, según cifra del DANE [5].

Para el año 2016, las ventas se centraban principalmente en Bogotá, seguido solamente de Cali y Medellín, causando cerca del 75% del total de ventas para dicho año. Para el año 2017, el sector presentó reducción del 5.64% en producción, 7.78% en ventas y cerca del 3.82% en empleabilidad.

En cuanto a exportaciones del sector, el periodo 2013-2016 tuvo pendiente negativa, generando pendiente positiva solamente a partir del 2017 con cifras de hasta $75 millones de dólares repartidos de la siguiente manera [5]:

- Muebles de madera, el 21%.
- Muebles de metal el 14%.

- Asientos con armazón de metal con relleno el 14%
- Asientos no comprendidos en otras partes el 12%
- Muebles plásticos el 10%.
- Muebles de los tipos utilizados para dormitorio el 10%
- Demás partidas arancelarias el 19%.

Para cifras referentes al sector de muebles para oficina, en el 2017 se exportaron $810.000 dólares, evidenciándose la poca fuerza del sector en cuanto al comercio internacional de muebles para oficina, siendo Estados Unidos el principal destinatario,seguido de Panamá, Chile y México.

En cuanto a importanciones, Colombia presentó cifras superiores a los $150 millones de dólares para el 2017, siendo los productos más demandados los asientos giratorios de altura ajustable, los muebles de metal, muebles de madera y partes de asientos. Los principales paises importadores para ese año fueron China, Estados Unidos, España, Italia, Brasil y México, guardando la tendencia para los siguientes años previos al 2020.

A continuación, se presentan algunas tendencias y cifras del sector de muebles en Colombia [6]:

a. Dentro del sector, se establece la siguiente división de participación por ítems (véase Figura 1):

***Figura 1**. Participación de los diferentes ítems en el sector de muebles en Colombia*

***Fuente**: Elaboración propia.*

b. La oferta a nivel regional enfocada en muebles de oficina para el año 2019 se presenta en la Tabla 3:

LISTADO - EMPRESAS DE MUEBLES DE OFICINA - REGIONAL CENTRAL		
ITEM	DEPARTAMENTO	CANTIDAD
1	BOGOTA	41
2	BOYACA	1
3	CUNDINAMARCA	-
TOTAL		42

Tabla 3*.Listado de empresas de muebles de oficina a nivel regional*

Fuente:[6].

Como se puede observar, el 97,6% de las empresas que se ubican en la región central (Distrito Capital, Cundinamarca y Boyacá), se ubican en Bogotá.

A nivel nacional, se presenta la siguiente distribucion (sin tener en cuenta datos de la Tabla 3) en la Tabla 4:

LISTADO NACIONAL EMPRESAS DE MUEBLES DE OFICINA NIVEL NACIONAL		
1	ANTIOQUIA	8
2	ATLANTICO	11
3	VALLE	13
4	RISARALDA	2
5	OTROS DEPARTAMENTOS	9
TOTAL		43

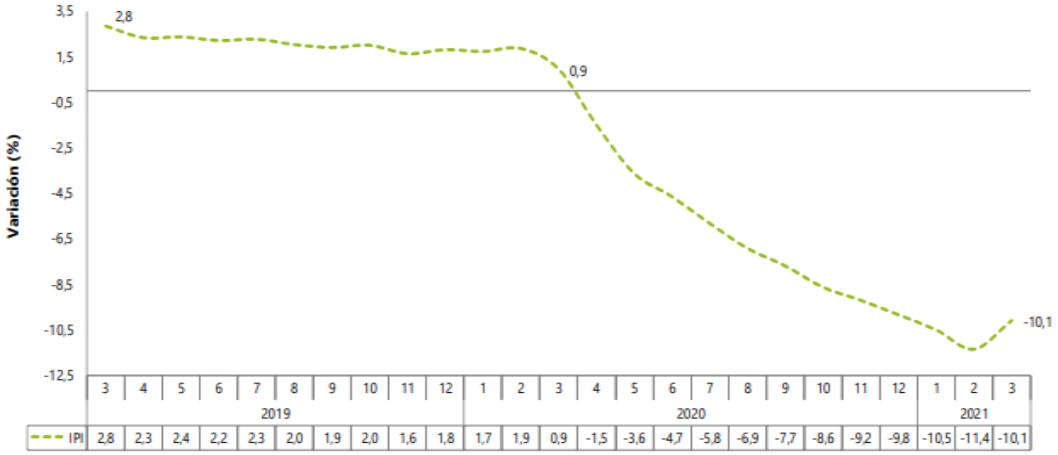
Tabla 4*. Listado de empresas de muebles de oficina a nivel nacional*

Fuente:*[6]*

A nivel nacional, en Bogotá se concentra cerca del 49% de las empresas que ofertan muebles de oficina, por lo que se puede considerar el epicentro del servicio. Esta visión general del sector permite establecer aspectos como: el sector, auque presentando periodos de descenso como los mencionados, se encontraba en crecimiento hasta la pandemia generada por el SARS-CoV-2 y, la mayoría de empresas a nivel nacional que prestan servicio de muebles para oficina se focalizan en la capital del país. Adicional, como lo menciona [7], la mayoría son empresas catalogadas como PYMES, ya sea por su capital o por el número de trabajadores que integran.

Estudios más recientes [8], permiten visualizar el comportamiento de la dinámica de la fabricación de muebles en Colombia, para caso particular, el comportamiento del mes de marzo de 2021 frente al mes de marzo de 2020, en donde se identifica una variación positiva de 44.4%, con un aporte de 0.3 puntos porcentuales a la variación anual. Sin embargo, estas cifras podrían presentar un sesgo como consecuencia de las condiciones sanitarias y de pandemia que se vienen presentando a nivel mundial

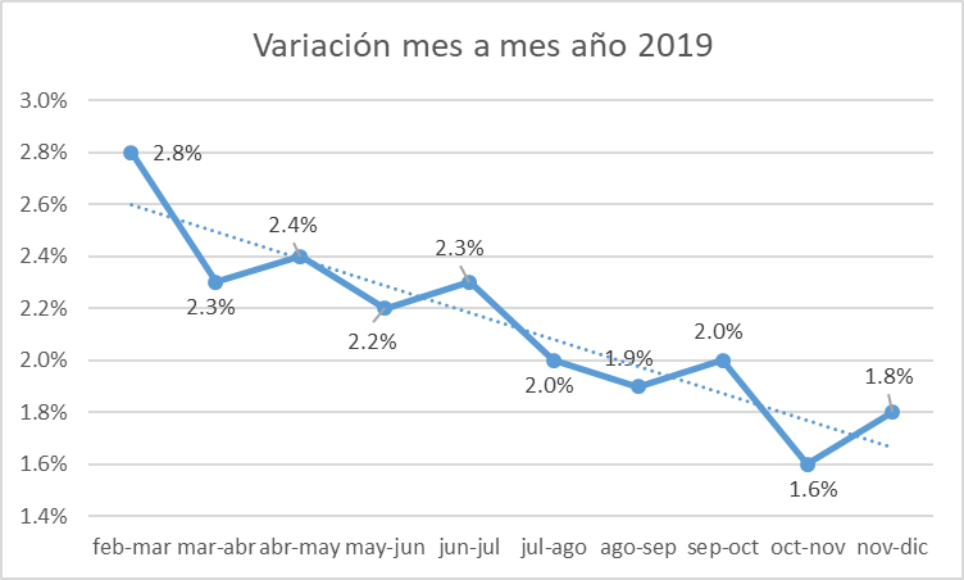
desde finales del 2019 gracias al surgimiento del coronavirus SARS-CoV-2. Una comparación año-año realizada por [8] (abril 2020 – marzo 2021 / abril 2019 – marzo 2020), evidencia el fuerte impacto generado en la economía nacional, y en especial, en la producción industrial, como consecuencia de la pandemia; la variación porcentual para el lapso de tiempo mencionado llegó a los -15%, con una contribución negativa a la variación anual de -0.1%, lo que deja ver el alto nivel de importancia en los indicadores económicos y en la dinámica industrial las condiciones sanitarias presentadas en el 2020. Cabe resaltar que, para los primeros meses del 2021, la dinámica de la producción industrial se ha venido recuperando del declive económico. La Gráfica 1 muestra el comportamiento mes a mes de la industria durante los años 2019 y 2020.



***Gráfica 1**. Variación porcentual de los ingresos de la producción industrial años 2019, 2020 y primer trimestre de 2021*

***Fuente:**[8]*

Aunque el 2020 haya sido un periodo catastrófico para la economía nacional, la producción industrial venia presentando una variación mes a mes para el año 2019 cada vez menor, por lo que facilitó niveles tan altos de variaciones negativas durante el transcurso del primer año de pandemia por SARS-CoV-2. En la gráfica 2 se presenta la variación mes a mes (exceptuando diciembre 2018 – enero 2019 y enero 2019 – febrero 2019) de la producción industrial durante el 2019.



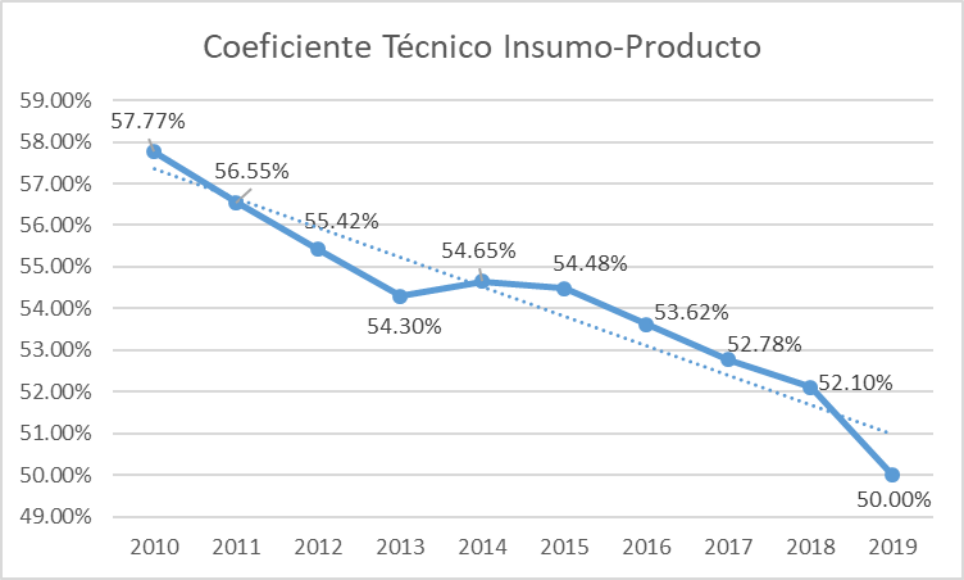
***Gráfica 2**. Variación porcentual mes a mes de la producción industrial para el año 2019*

***Fuente:** Elaboración propia adaptada de [8]*

En la Gráfica 2, se puede evidenciar la línea de tendencia de la producción industrial nacional para el año 2019, por lo que, aunque las condiciones de saneamiento hayan dificultado la dinámica económica durante el 2020, la industria venia en variaciones mes a mes cada vez menores, por lo que se hace evidente una búsqueda de herramientas que permitan aumentar la productividad en las empresas que componen la industria colombiano, para este caso, las empresas ofertantes de muebles para oficina abierta.

2.1 Industria nacional y perspectiva frente al mercado internacional

Las actividades industriales, en su razón de ser, presentan consumo intermedio de otros productos y/o servicios de diversas actividades industriales. El consumo intermedio comprende costos y gastos de operación que permiten la oferta de los productos y/o servicios de las actividades económicas en el mercado [5]. En este contexto, se mide un indicador llamado Coeficiente técnico insumo-producto, que se define como la relación entre el consumo intermedio y la producción bruta de una actividad económica. Se entiende que una empresa con coeficiente técnico insumo-producto bajo es más productiva que otra con un coeficiente mayor.



***Gráfica 3**. Coeficiente técnico Insumo-Producto para la industria de muebles para oficina periodo 2010-2019*

***Fuente:** Elaboración propia adaptada de [5] y [9]*

Como se observa en la Gráfica 3, el coeficiente técnico de Insumo-Producto tiene tendencia decreciente, por lo que se puede concluir que la actividad económica ha venido implementando un conjunto de mejoras que les ha garantizado una disminución del consumo intermedio o, en contraparte, un aumento en la producción brutal, sin embargo, se descarta en gran medida la segunda opción por los datos e información mencionada previamente. Este coeficiente brinda una idea de la efectividad de una actividad económica.

Los principales ítems relacionados para el cálculo del consumo intermedio son: materias primas, nómina y consumo de energía eléctrica. Afirmaciones del personal de la industria de muebles directamente relacionada sugieren que la materia prima es lo que más cuesta junto con la nómina, razón por la cual, países como China o Japón son altamente rentables en la industria a nivel mundial [5].

A su vez, estudios realizados por [6] , concluyen que mercancía y empresas provenientes del exterior, especialmente de China, ofertan productos a bajo costo gracias a su nivel tecnológico, deficiencia presentada en la industria nacional, pues como se ha mencionado previamente, el mercado de muebles para oficina es constituida, en su gran mayoría, por empresas pequeñas y medianas, con un músculo financiero frágil para la inversión en tecnología, disminuyendo su nivel competitivo frente al

mercado internacional que, con ayuda de los tratados de libre comercio y las relaciones bilaterales entre países, han tenido la oportunidad de entrar a competir con industrias de todo el mundo.

Se concluye entonces, que la industria nacional de muebles para oficina no es competitiva gracias a la falta de inversión en el desarrollo tecnológico, a los altos costos de productos intermedios y al ingreso de empresas internacionales que presentan fortaleza financiera y tecnológica. Esta falta de productividad frente al mercado internacional demanda inversión y reestructuración de la forma en que se desenvuelve la industria internamente, permitiendo generar mejores niveles de aprovechamiento de recursos y aumentando la competitividad organizacional y como sector.

2.2 Descripción de la industria

Como consecuencia de la pandemia causada por el SARS-CoV-2 a nivel mundial, se presentó la limitante de conocer personalmente una empresa productora de muebles para oficina abierta, razón por la cual, se estructuró una noción de producción y organización de una empresa ofertante de muebles para oficina abierta genérica, que guardara características similares del nivel medio de empresas del sector, a fin de poder generar una estructura que se pudiera aplicar en términos generales a cualquier empresa del medio.

La estructuración de esta noción general de funcionamiento de una empresa media ofertante de muebles para oficina se realizó con base en información consolidada en tesis de grados que, en su momento, durante el desarrollo de dichos trabajos, tuvieron la posibilidad de generar contacto con empresas del sector, ya sea para realizar una propuesta de mejora en sus niveles de producción, como para generar una propuesta de negocio que permitiera la generación de una nueva empresa en el mercado.

Los muebles para oficina, si bien presentan características similares en cuanto a diseño, acabados y material, dependen mucho de la disponibilidad de espacio que posea el cliente, razón por la cual, existe un nivel de producción similar que varía de empresa a empresa según su nivel tecnológico, pero que guarda una relación en la forma, el material y los acabados realizados a las piezas y los productos finales.

2.2.1 Diseño del proyecto

El primer paso consiste en el diseño del producto que requiere el cliente, definiendo material a utilizar, dimensiones, especificaciones técnicas, superficie, estructura de divisiones, muebles en general y

demás detalles que requiera la empresa para generar una orden de producción al área de manufactura. Dentro del nivel de diseño, cabe resaltar que se cuenta actualmente con software especializado para los diseñadores que facilitan el proceso [10], entre los que se encuentran TinkerCAD, FreeCAD, BlocksCAD, CREO, Fusión 360°, Solidworks, AutoCAD, CATIA, OpenSCAD, Rhino3D, entre otros. Estos softwares, y en general, los softwares enfocados en diseño asistido por computadora (CAD por sus siglas en inglés), permiten una facilidad a la hora de generar, modificar o mejorar la estructura del objeto que se esté diseñando.

Una vez se cuenta con el diseño computarizado y validado por el cliente en cuanto a especificaciones y costos, se procede a generar la correspondiente orden de producción, sin embargo, aunque las ordenes de producción varíen según el proyecto que se desee implementar, el flujo dentro de la zona de manufactura tiende a ser similar para las empresas promedio del sector.

2.2.2 Selección de materia prima

En términos generales, los productos más utilizados en la industria están compuestos por melamina y chapa barnizada. La melamina es un material sintético resistente a la humedad, las ralladuras, el sol, y en términos generales, a las altas temperaturas [11]. El uso que se le da en la industria del mueble radica principalmente para acabados visuales por sus cualidades previamente establecidas ya que sirve para cubrir el aglomerado (es un material constituido por fragmentos de madera prensadas y endurecidas con aglutinante) o el MDF (también es un material prensado, sin embargo, se diferencia del aglomerado en la densidad de las particulas, presenta menor porosidad)[12]. Por su parte, la chapa barnizada es un material que tiene similitud visual con la madera maciza, sin embargo, posee chapa de, por ejemplo, roble, que recubre una madera de pino, como ejemplo también [13]. Aunque en la industria de muebles para oficina abierta se usan también otros materiales como vidrio, por ejemplo, la melamina y la chapa barnizada tienden a ser os más utilizados por sus relativos costos bajos.

2.2.3 Proceso genérico de transformación de materia prima

De forma genérica, [14], [15] y [16] planean que, para productos elaborados con chapa barnizada, el primer paso para la transformación de la materia prima es el corte, esto puede ser con ayuda de una seccionadora, para posteriormente llegar al área de chapado, en donde una cosedora y una prensa unen láminas de ser necesario, con el fin de generar una única superficie con las dimensiones necesarias requeridas por el cliente. Una vez se tenga la homogeneidad requerida, los trenes se

encargan de ajustar las piezas a los requerimientos para posteriormente ser enviada a pintura, en donde quedará dispuesta con el color que el cliente lo solicite.

Por su parte, si se trabaja con melamina, se debe pasar en primera instancia por corte, al igual que la chapa barnizada, después son dispuestas en trenes donde se ajustan las piezas a los requerimientos, de llegar a necesitarlo, y finalmente son llevadas a taladros para posteriormente estar disponibles para entrega.

La figura 2 especifica con mayor detalle, el camino a seguir de los materiales dentro de una empresa habitual ofertante de muebles para oficina:

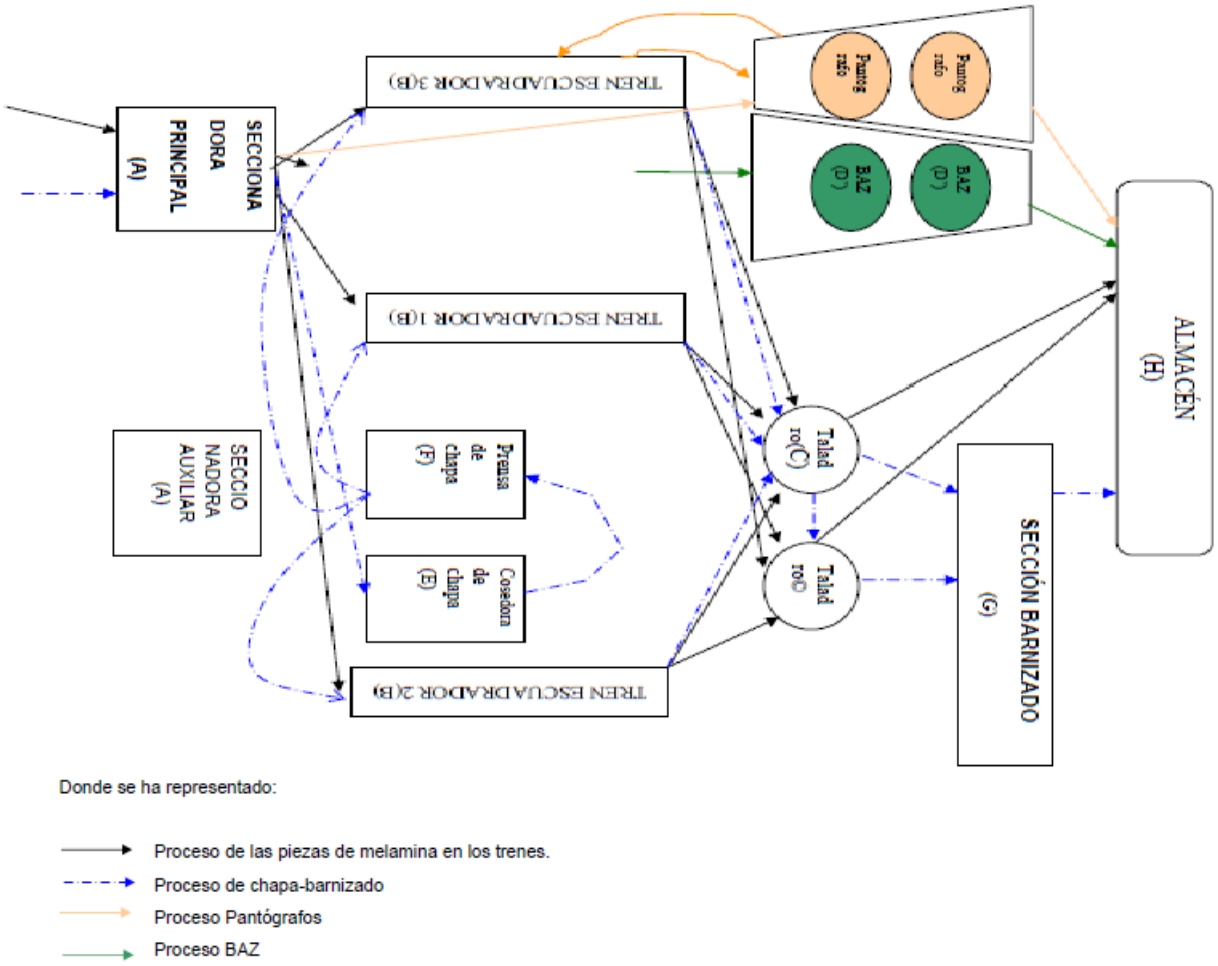


***Figura 2**. Proceso de transformación de materia prima en la empresa Mobel Línea*

***Fuente:**[14]*

Para la definición de la maquinaria presente en la figura 2, se mantiene la misma definición planteada por [14] :

- **Seccionadoras**: se usan para cortar la materia prima y todas las piezas pasan por ella.
- **Trenes escuadradores**: se trata de un conjunto de máquinas cuya finalidad es ajustar el corte y acabar los cantos de los tableros.
- **Pantógrafos**: se usa para procesar las piezas con formas curvas.
- **BAZ**: constan de máquinas que realizan las funciones de un pantógrafo, pero además pueden poner por si mismas los cantos.
- **Cosedora de chapa**: se emplea para fabricar la chapa.
- **Prensa de chapa**: sirve para unir la chapa con la madera.
- **Tren de barnizado**: entorno cerrado donde se realiza el barnizado de las piezas de chapa.

La descripción anterior, estructurada en la figura 2, se presenta como una particularidad para la empresa Mobel Línea, sin embargo, la mayoría de las empresas del sector de muebles para oficina, acoplan la misma estructura con cambio en la serie de la maquinaria o en su capacidad. En términos generales, el proceso puede especificarse como se presenta en la figura 3.

***Figura 3**. Etapas genéricas del proceso de fabricación de muebles para oficina abierta*

***Fuente:** Elaboración propia adaptado de [15] y [16]*

Como se muestra en la figura 3, en términos generales, la materia prima pasa por una actividad de corte, en donde se acondiciona a los requerimientos del cliente, luego se realiza un proceso de pulido para generar mejor acabado en las piezas en elaboración. Una vez se tiene una pieza con las dimensiones demandadas y acabada, ésta pasa por un proceso de pintura y ensamble final, para posteriormente ser despachada al centro de instalación definida por el cliente. El esquema genérico presentado, aplica, de forma general, a un proceso de transformación de piezas para muebles.

2.2.4 Proceso de distribución e instalación

El proceso de distribución e instalación de muebles para oficina abierta busca realizar la preparación y entrega del producto terminado en el sitio acordado por el cliente [17]. En este sentido, las decisiones se toman en los tres niveles de una organización, a saber, estratégico, táctico y operativo.

- **Nivel Estratégico:** en este nivel se busca la planificación de la distribución e instalación de los productos fabricados por la empresa hacia el punto acordado por el cliente, coordinando ordenes de pedido, distribución, transporte y disponibilidad de recurso humano y maquinaria para la instalación.
- **Nivel Táctico:** se definen todas las condiciones referentes al mediano plazo de la organización, recursos disponibles, faltantes y capacidad de distribución para un horizonte menor a un año.
- **Nivel Operativo:** este nivel permite controlar la exactitud de las ordenes enviadas, la medición de la entrega e instalación, control del nivel de producción de la empresa, regular la eficiencia del despacho, llegada e instalación.

Las especificaciones y los detalles referentes a la Instalación de muebles para oficina abierta se establecen en el apartado *Proceso de Instalación* en donde se definen sus características y sus limitaciones como posibles centros de mejora.

2.3 Procesos empleados actualmente para la transformación de los muebles una vez han cumplido su ciclo de vida

Dadas las circunstancias actuales, es indispensable que se implementen procesos que ayuden a disminuir los residuos generados no solo en el sector de muebles y afines, sino en todos los sectores posibles con el fin de mitigar el impacto ambiental.

Según [18],una vez que los muebles fabricados con material aglomerado de madera terminan su ciclo de vida, son empleados como combustible o son depositados en vertederos municipales, los cuales generan un grave impacto ambiental debido a las sustancias químicas con las cuales se fabricaron los muebles. Una de estas sustancias es el contenido del formaldehído[18], el cual es empleado en la industria de muebles y maderas para garantizar las propiedades de los productos terminados. Por otra parte, el impacto ambiental generado por los residuos del sector de muebles y maderas no es el único problema existente, además de este es posible identificar la afectación económica producida por el

poco provecho que se le pueden brindar a los residuos ya sea por desconocimiento o por la falta de tecnologías que faciliten el proceso de obtención de un nuevo producto.

Las tecnologías encontradas por [18] para la transformación del material aglomerado se dividen en 4 procesos físicos y 7 procesos químicos, los cuales incluyen desde el hidrolisis (desintegración de las partículas del material aglomerado a partir del vapor de agua) hasta la obtención de otros productos como paneles de maderas mediante un método de fusión. Sin embargo, los muebles que son instalados tanto en las oficinas como en las cocinas y los baños no son fabricados únicamente de material aglomerado (ya sea melanina o laminado), también son hechos en materiales como chapa natural, DM (tablero aglomerado que se fabrica a partir de fibras de madera pegadas y prensadas) lacado, madera maciza entre otros.

2.4 Economía circular y remanufacturación

Una vez el producto llega a su última fase del ciclo de vida, generalmente se convierte en producto obsoleto, sin embargo, la economía moderna busca ampliar el lapso funcional del producto a través de la remanufacturación.

La economía circular es un aspecto a considerar en este siglo debido a las limitantes de recursos y energía presentes en la naturaleza. La economía circular busca, en primera instancia, reducir desechos emitidos por una economía lineal, a su vez que permite la disminución de costos y mejora la huella ambiental causada por la producción de productos vírgenes [19]. En esta medida, la economía circular se sustenta en cadenas de suministro de ciclo cerrado: redes que permiten que los materiales se utilicen de otra manera en vez de ir directamente a un vertedero. Como ejemplo del impacto de la economía circular se tiene a la empresa Davies, la cual evita la generación de aproximadamente dos toneladas de residuos por cada cien paneles de oficina remanufacturados [19]. Anteriormente se habló de procesos de remanufacturados realizados por Davies, causando impactos positivos en términos de huella ambiental, sin embargo, los impactos de la remanufactura radican también en el alargamiento del ciclo de vida de un producto virgen o remanufacturado, así como en la satisfacción de los requerimientos del cliente a partir de la remanufactura adaptativa. La remanufactura es un medio para mantener el valor de los productos y, en paralelo, reducir al mínimo los desechos [19]. La remanufacturación es el proceso mediante el cual se adicionan, extraen, intercambian partes de un producto para poder prolongar la vida útil de éste, de esta forma se posibilita crear un producto similar al producto virgen (pero no idéntico).

Uno de los retos de la remanufacturación es la obsolescencia de los productos debido a las demandas de los clientes y los cambios constantes en los atributos de los mismos, razón por la cual surge la remanufacturación adaptativa [RA], la cual se encarga de actualizar, reconfigurar y personalizar productos anteriormente obsoletos para satisfacer las demandas actuales del mercado [19]. La RA es una forma de reutilizar los productos que se consideran obsoletos, acondicionándolos a los requerimientos actuales, sin perder el valor original y su funcionalidad. Una de las características que hacen a los remanufactureros y a la industria remanufacturera competitivos es la capacidad de ofrecer productos con el mismo o similar valor de un producto virgen, a menor costo, menor impacto ambiental y satisfaciendo los atributos demandados por los clientes. El trabajo realizado por [19] prevé que el mercado pos consumo puede ascender a niveles de hasta 2.700 millones de dólares para el 2020, razón por la cual, la remanufacturación se posiciona como un sector rentable.

Dentro de las actividades más importantes al momento de la remanufacturación en el sector de muebles para oficina, se tiene el corte, la soldadura, el recubrimiento con polvo y el retapizado. Bajo la experiencia de [19], se tiene que los componentes más trabajados en la remanufacturación de muebles para oficina son las superficies de trabajo, las unidades de almacenamiento y los paneles de pared.

2.5 Los sistemas producto-servicio en la industria de muebles para oficina

La industria de muebles para oficina, como se mencionó anteriormente, presenta falencias en la forma en que se dispone de los productos ofertados una vez cumplen su ciclo de vida como productos vírgenes, razón por la cual se hace necesario gestionar todo el ciclo de vida de dichos productos, desde su diseño hasta su disposición final. Soluciones prometedoras como la remanufacturación, presentada en el apartado anterior, hasta la implementación de un sistema producto – servicio, se perfilan como gestoras sostenibles del ciclo de vida de los muebles para oficina.

2.5.1 Sistema producto-sevicio

Durante muchos años, la economía presentó comportamiento lineal, en donde no se pensaba en la disposición final de los productos ofertados al mercado salvo por su puesta en vertederos. Actualmente, se piensa en una economía circular, en donde se pretende generar diferentes ciclos de vida útiles de los productos, como forma para la mitigación de los efectos ambientales [20]. En este nuevo modelo económico circular, se ha hablado de sistemas producto – servicio (PSS por sus siglas

en inglés) como una forma más eficiente de uso de los productos que permita reducir las emisiones y los volúmenes de residuos [21].

En términos generales, un PSS es una propuesta de valor que brinda un elemento tangible y un servicio intangible combinados de manera tal que sean capaces de cumplir los requerimientos del cliente de forma integral[22]. Esta definición de PSS presenta dos elementos claves para la propuesta de valor: producto y servicio. Se define un servicio como una actividad entre un prestador del servicio y un receptor del servicio que cambie el estado del receptor [22], mientras que se puede definir a un producto como un sistema compuesto por componentes físicos que cumplen una o varias funciones definidas por el productor [22]. Un PSS no solamente oferta un producto y un servicio, sino que trasciende a la inclusión de recursos humanos, recursos organizacionales e información que facilitan la interacción entre la empresa y el cliente final.

2.5.2 Sistema producto-servicio aplicado a la industria de muebles para oficina

Los PSS proporcionan utilidad al cliente mediante el uso de servicios de los productos [21]. En la industria de muebles para oficina, esta propuesta de valor se ha aplicado de forma teórica, permitiendo la estructuración de un marco de ventajas y desventajas para la aplicación en un contexto real (para mayor información, consultar [21]):

- Dentro de un marco PSS, los fabricantes de muebles para oficina podrían prolongar la vida útil de sus productos a partir del uso de materias primas duraderas, permitiendo que éstos se oferten bajo un contrato de prestación a las empresas demandantes. Esto incentivaría a servicios de mantenimiento y reutilización de los muebles ya que el producto es propiedad de la organización y no del cliente.
- La principal desventaja que propone un PSS radica en la contradicción con el modelo de negocio actual del sector; el modelo de mercado de la industria de muebles para oficina radica en la venta de sus productos con una relativa vida corta de los mismos, apoyando la premisa “entre más se venda, mejor”, filosofía del capitalismo.
- Los costos de retirada de muebles una vez cumplen su función y finaliza el contrato de prestación de servicios, son altos, razón por la cual no se presenta como un modelo de negocio viable económicamente.
- Las políticas públicas actuales no garantizan un entorno viable para la aplicación de un PSS en el sector de muebles para oficina (para mayor inforación, véase [23])

En conclusión, estos ítems mencionados establecen un marco con muchos retos para ser aplicado al sector de muebles para oficina en cuanto a que su fundamento radica en contra de la filosofía de venta y comercialización del sector y la falta de políticas públicas por parte de los gobiernos impiden la viabilidad económica del sistema producto – servicio en la industria de muebles para oficina.

3. Diseño de oficina abierta

La oficina abierta es un espacio de trabajo cuyos límites perimetrales no van al techo [24], por lo cual, discierne de la estructura típica de un espacio de trabajo tradicional, pues en estos, la disposición de los puestos de trabajo es flexible debido a que no cuenta con paredes y puertas de altura completa que separen a los ocupantes [4]. La idea que sustenta el uso de puestos de trabajo de esta forma es la facilidad que se consigue en el flujo de la información y la comunicación, al igual que un mejor aprovechamiento del uso del espacio, recurso que es limitado y que es de necesidad latente gestionar en las organizaciones, principalmente por los costos asociados y por la necesidad de eficiencia espacial para la realización de las actividades administrativas, en su mayoría.

Al ser el espacio físico un recurso y al gestionarse los recursos como un elemento que tiene asociado un costo que se desea minimizar en la estructura de costos, las organizaciones presentan la necesidad de realizar una división de espacios de tal manera que sus actividades fluyan de forma armónica y que relacionen una cuantía económica lo mínima posible, sin embargo, un diseño deficiente dará lugar a ambientes que crean problemas para los ocupantes y que pueden superar el peso del ahorro potencial de costos [4]; en vista de la necesidad de una buena y apropiada gestión del espacio de trabajo, se desarrollan una serie de recomendaciones para una adecuada planeación y división de espacios de trabajo organizacionales.

3.1.1 Diseño de oficina abierta y productividad organizacional

La productividad organizacional es la relación entre los productos y/o servicios generados como consecuencia de un proceso y los elementos que se utilizaron para dichas salidas. En términos generales, [4] plantea la existencia de condiciones económicas y factores externos, al igual que actitudes y comportamientos del recurso humano como influenciadores en la productividad organizacional al impactar en las entradas y/o en las salidas. Se entienden como factores externos todos aquellos elementos que no pueden ser controlados por la empresa, pero a los que se les puede hacer seguimiento y se pueden realizar planes para adaptarse a estos cambios; por su parte, la actitud y comportamiento de los individuos que componen la organización se consideran factores internos y son susceptibles a gestionarse y mejorarse, por lo que, si se tienen elementos de los que depende la productividad, deberán controlarse y gestionarse de forma eficiente. La Figura 4 presenta una representación visual de la estructura productiva en términos de factores externos e internos.

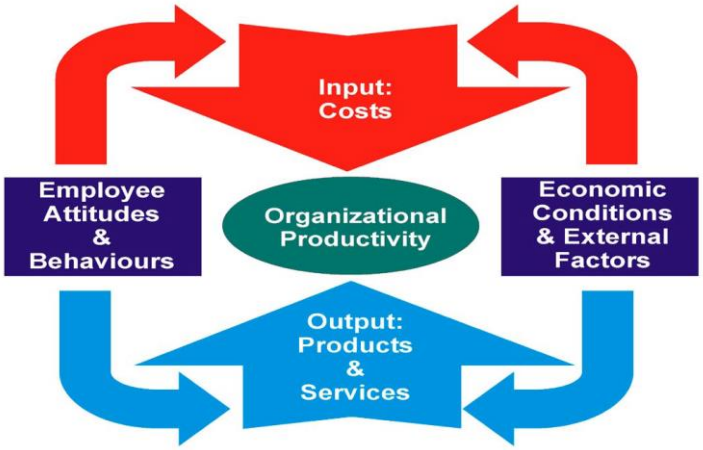


***Figura 4**. Factores que afectan la productividad organizacional*

***Fuente:**[4]*

Al ser la actitud y el comportamiento humano un factor de impacto en la productividad organizacional, el diseño de oficina abierta presenta una serie de elementos que impactan de forma positiva y negativa a los resultados de estas variables humanas y que se pueden ver reflejados en la efectividad al momento de realizar sus actividades laborales. [24] plantea los siguientes elementos a tener en cuenta para el diseño de una oficina abierta:

- **Elementos positivos:** en tres frentes principales se pueden resumir los aspectos positivos del diseño de oficina abierta, a saber, flujo de trabajo eficiente, diseño flexible y eficiencia en

costos. El flujo de trabajo eficiente relaciona la facilidad de comunicación que se presenta, el intercambio de conocimiento, la fácil supervisión de los trabajadores y una mejor realimentación entre el talento humano. Por su parte, el diseño flexible apremia la flexibilidad de espacio que se presenta, pues no requiere de especificaciones técnicas sofisticadas y se usan en su mayoría, paneles divisorios y muebles compartidos. Finalmente, la eficiencia de costos relaciona el uso de la luz de día por su característica intrínseca de espacios abiertos, la reducción de costos generales y técnicos al ser elementos compartidos, una alta densidad de trabajadores en el mismo espacio, una reducción de costos en la construcción al igual que en el mantenimiento y una facilidad de cambios en el diseño.

- **Elementos negativos:** los elementos que impactan de forma negativa son, a saber, la distracción, insatisfacción laboral, enfermedad y estrés. La distracción comprende la falta de concentración por elementos visuales y auditivos. La insatisfacción laboral abarca la falta de autonomía al ser espacios abiertos, una inconformidad en las condiciones térmicas, una disminución en la privacidad y un aumento en la sensación de multitud que repercute en situaciones de afección física y emocional. Las enfermedades que se pueden presentar, en términos generales, van desde la pobre calidad del aire, la exposición a virus, entre otras. Finalmente, estrés físico y estrés psicológico hacen parte de la materialización del elemento estrés como característica negativa que se puede presentar en una oficina de diseño abierta.

Los elementos mencionados anteriormente impactan en el comportamiento del talento humano, y de forma directa, a la eficiencia con la que realizan sus actividades y a los resultados empresariales, pues son elementos que inhiben o promueven, según sea el caso, la productividad organizacional [4].

3.1.2 Elementos a considerar para el diseño de oficina abierta

Como lo menciona [4], el talento humano, generalmente, es el activo más valioso de una empresa, razón por la cual, iniciativas que lo apoyen permiten, con un grado alto de probabilidad, aumento en la productividad; en este sentido, se deben tener en cuenta elementos cruciales a la hora de diseñar una oficina abierta el pro del bienestar de los trabajadores y del talento humano en general. A continuación, se exponen los elementos más relevantes a tener en cuenta una vez se quiera realizar diseño de oficina abierta, teniendo como base y sustento a [4]:

Acústica

El aspecto acústico de un ambiente de oficina abarca los sonidos emitidos en el entorno de trabajo y fuera de este, generándose en una fuente específica, pero extendiéndose a todas las direcciones. Estas perturbaciones pueden reflejarse, ser absorbidas o transmitidas, según el material receptor. Al ser un diseño sin limitaciones de techo, las perturbaciones tienen la posibilidad de recorrer libremente el espacio disponible, generando alteraciones en la comodidad y concentración del talento humano.

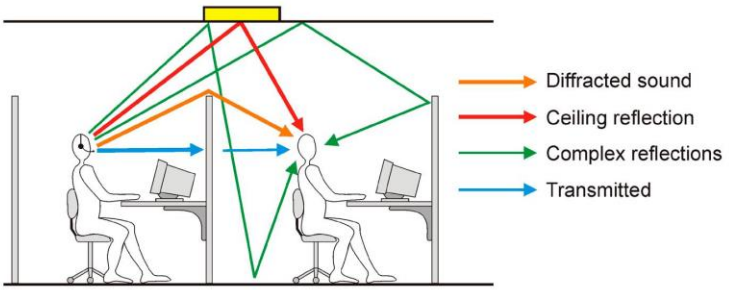


***Figura 5**. Formas en las que se perturba el sonido en un entorno de trabajo bajo diseño de oficina abierta.*

***Fuente**: [4]*

Dentro de las principales fuentes de sonido que pueden alterar el comportamiento y la actitud del talento humano en una organización, se encuentran los sonidos telefónicos, charlas cara a cara, conversaciones telefónicas, los sistemas de ventilación, equipos de oficina y perturbaciones del exterior.

Calidad del aire y condiciones térmicas

Las condiciones térmicas a las que está expuesto el trabajador pueden variar según las condiciones ambientales del lugar donde se encuentre, la actividad física que realice y las características de la ropa que lleve [25].Este nivel térmico puede permitir o dificultar la realización de las actividades laborales, por lo que, dentro del diseño de oficina abierta, debe ser considerado para brindar un ambiento a condiciones adecuadas para el talento humano. Por su parte, una adecuada gestión de los niveles de contaminación permite un funcionamiento normal del sistema respiratorio y, en consecuencia, un buen funcionamiento del trabajador en sus actividades físicas y cognitivas.

En la Tabla 5, se presenta los niveles de contaminación aceptables según El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

Contaminante	Nivel máximo Permisible (µg/m³)	Tiempo de Exposición
PM_{10}	50	Anual
	100	24 horas
$PM_{2.5}$	25	Anual
	50	24 horas
SO_2	50	24 horas
	100	1 hora
NO_2	60	Anual
	200	1 hora
O_3	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

***Tabla 5**. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire.*

***Fuente:**[26]*

Donde:

- PM_{10} son partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera cuyo diámetro varía entre 2.5 y 10 µm.
- $PM_{2.5}$ partículas con diámetro menores a 2.5 micras.
- SO_2 dióxido de azufre, gas incoloro.
- NO_2 dióxido de nitrógeno, gas tóxico e irritante.
- O_3 ozono.
- CO monóxido de carbono.

Iluminación

El diseño de oficina abierta facilita el acceso a la luz del día por su cualidad intrínseca de diseño abierto, esto es, sin limitaciones de techo. Este nivel de iluminación permite el desarrollo adecuado de las actividades que desempeña el trabajador. Una de las cualidades intrínsecas de la luz de día es la uniformidad en las superficies, pues su fuente emisora se encuentra situada, en un horario medio, en la parte superior del trabajador. En caso de que la oficina se encuentre con techo, aunque el diseño de oficina no lo posea, se recomienda una fuente emisora de luz que genere uniformidad y, en caso de no disponer de dicho elemento, se recomiendan controles de iluminación de tipo individual.

Los sistemas de iluminación requieren equilibrio entre el bienestar individual que le brinda al trabajador (visibilidad, salud, seguridad, interacción social y comunicación), los factores económicos asociados

(instalación, mantenimiento, operación, energia, medio ambiente) y los factores de arquitectura (forma, composición, estilo, estándares). Algunos problemas que se le atribuyen a la poca iluminación o a la ineficiente iluminación en oficinas abiertas son cansancio visual, dolores de cabeza, ojos secos y ojos acuosos. Estos problemas mencionados afectan la eficiencia del trabajador, que repercuten en la organización en términos de productividad.

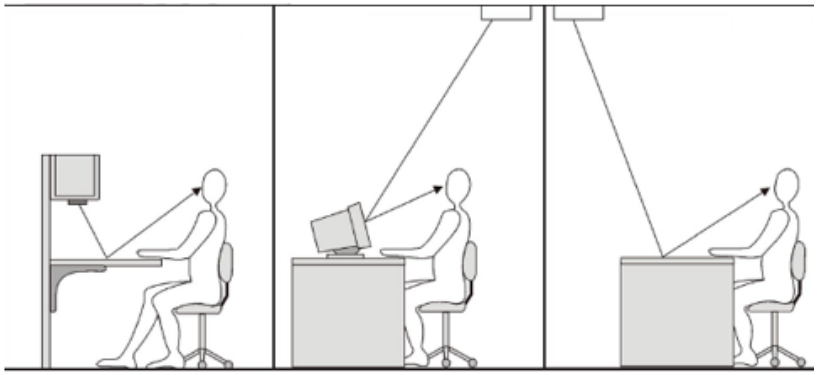


***Figura 6**. Problemáticas de geometría referentes a la iluminación.*

***Fuente:**[4]*

En la figura 6, se pueden observar algunos sistemas geométricos de iluminación mal diseñados que impedirán un adecuado funcionamiento del trabajador en su entorno laboral.

Estación de trabajo

Según estudios realizados por [27] y [4], la relación entre satisfacción del trabajador y espacio de trabajo es directa, pero con pendiente reducida, esto es, no se consigue un nivel de satisfacción alto con un espacio de trabajo amplio, por lo que [4] recomienda las siguientes especificaciones a la hora de diseñar un espacio con tamaño adecuado:

- Tamaño mínimo de 5.9m^2 y máximo de 13.4m^2.
- Lejos de fuentes de contaminación, acústicas y atmosféricas.

Una vez se tiene el espacio mínimo requerido, se requiere identificar la necesidad del espacio y su diseño, por lo que Room Sketcher (plataforma para el diseño de espacios de trabajo) plantea, en términos generales, algunos diseños utilizados comúnmente al momento de pensar una oficina:

- Distribución tradicional, con espacios individuales permanentes o semipermanentes.
- Diseño de oficina en cubículo, constituidos por 3 tabiques para formar una caja.

- Oficina de partición baja, donde la altura de las paredes es menor a la altura de los cubículos, permitiendo el paso de luz y flexibilizando la interacción entre los trabajadores.
- Diseño de oficina basado en equipos, en donde los trabajadores se agrupan para realizar sus actividades.
- Oficina de planta abierta, en donde desaparecen las divisiones y se consolida el espacio a partir del uso de muebles.

Al momento de definir el espacio y sus respectivas dimensiones según necesidades, se procede a la ubicación de muebles y elementos auxiliares que facilitarán la realización de las actividades por parte del recurso humano de la empresa. En este aspecto, existen particularidades a la hora del diseño de oficina por parte de los arquitectos y diseñadores, por lo que depende mucho de las políticas organizacionales y los procesos internos [28]. Como ejemplo, [augmented] plantea una serie de estándares de diseño para la ubicación de objetos referentes a espacios de oficina:

- Se debe conservar una distancia mínima entre el objeto a ubicar y la puerta como referente de partida para la ubicación.
- En caso de ubicar una silla en el lugar de trabajo, se deberá respetar un espacio mínimo para que una persona pueda entrar y salr sin ningún inconveniente, flexibilizando el uso del mismo.
- Se debe estandarizar una distancia mínima entre un escritorio y otro a fin de evitar complicaciones de movimiento y uso; se exceptua este principio cuando los escritorios hacen parte del mismo banco, facilitando la unión entre ellos.
- Si el objeto en cuestión para su ubicación es una mesa, esta no deberá solaparse con su zona libre de obstáculos.

La ubicación de los objetos de oficina dentro de un espacio de trabajo dependerá de la experiencia que ha adquirido el arquitecto a lo largo de su formación profesional y sus labores realizadas, sin embargo, aunque hay subjetividad en el diseño de oficinas, se busca maximizar el uso del espacio en circulación, a la vez que se pretende (en caso de que sea un espacio de trabajo común) maximizar la cantidad de objetos ubicados (sin irrespetar los espacios mínimos requeridos para el empleado). Una decisión generalizada es orientar los escritorios, por ejemplo, a lo largo del eje principal de una habitación, ampliando el espacio que se perfila para la circulación de personas [28].

Aunque la ubicación y orientación de objetos de oficina se ha venido configurando gracias a la práctica y el conocimiento del ser humano, existen algoritmos capaces de seguir un conjunto de reglas lógicas básicas para realizar la ubicación espacial de los elementos (consultar [28] y [29]para mayor información). A continuación, se nombran un conjunto de algoritmos básicos que se han venido trabajando para tal fin:

a. Algoritmo de diseño de rotación: en este algoritmo se pretende ubicar objetos de oficina atravesando los bordes del perímetro del espacio. La lógica del algoritmo procede de la siguiente manera: si el borde evaluado es, de longitud, menor que la medida del objeto, descartar y seguir con el siguiente borde; si el borde es mayor, en longitud, que el objeto a ubicar, asignarlo desde el extremo del borde. La evaluación de los bordes se realiza en tres momentos: en el sentido de las agujas del reloj, en sentido contrario a las agujas del reloj y ordenando los bordes por longitud. Se selecciona la combinación que optimice el uso del espacio con los objetos necesarios.
b. Algoritmo de diseño izquierda-derecha: se realiza la evaluación de los bordes suficientemente largos (los que cumplan con una longitud mayor o a lo sumo igual a la longitud del mueble) de izquierda a derecha y luego en sentido contrario, generando la asignación de objetos a que den lugar.

Algoritmos de este tipo presentados por [28] y validados según comparaciones con diseños realizados por arquitectos y diseñadores, permiten definir niveles de éxito del 83%, respetando las normas codificadas para el empaquetamiento de objetos en un espacio de trabajo.

Las necesidades del trabajador para el desarrollo adecuado de sus actividades deberán ser cubiertas al momento de diseñar el espacio físico en el que laborará, salvaguardando la comodidad, limpieza, ventilación, iluminación necesaria para el aseguramiento de la calidad en sus funciones.
Las características anteriormente expuestas y que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar un espacio para oficina abierta, se pueden encontrar con mayor detalle en [4]. Los elementos descritos en esta sección son de vital importancia para el desarrollo adecuado de las actividades por parte del trabajador, quien, como ya se mencionó, representa un activo importante en las organizaciones y, en consecuencia, un factor relevante en la productividad organizacional.

4. Industria 4.0

La primera revolución industrial se basó en la introducción de equipos de producción mecánicos impulsados por agua y vapor entre los siglos XVIII y XIX; La segunda revolución industrial tuvo su transición en el siglo XX y se basó en la producción en masa gracias al concepto de división de tareas y el uso de energía eléctrica; La tercera revolución industrial se basó en el uso de la electrónica y la informática para hacer posible la producción automatizada a finales del siglo XX. Actualmente, la humanidad pasa por la cuarta revolución industrial, caracterizada por el uso de sistemas ciber-fisicos, donde según del Val Román, "dos décadas de vertiginosos avances en la tecnología de internet han producido un impacto radical en la economía y en la sociedad"[30]. Para [31], es incierto cómo la tecnología se desarrollará en un futuro, sin embargo, la integración de sectores públicos y privados, la academia y los usuarios comerciales será algo que se debe atender. En este sentido, el uso de la tecnología en la industria es una necesidad real para mantener "la ejecución eficiente del diseño del producto, manufactura, servicio y otras actividades del ciclo de vida del producto"[32]. La Figura 7 muestra las diferentes revoluciones industriales que han tenido lugar durante la hstoria de la humanidad.

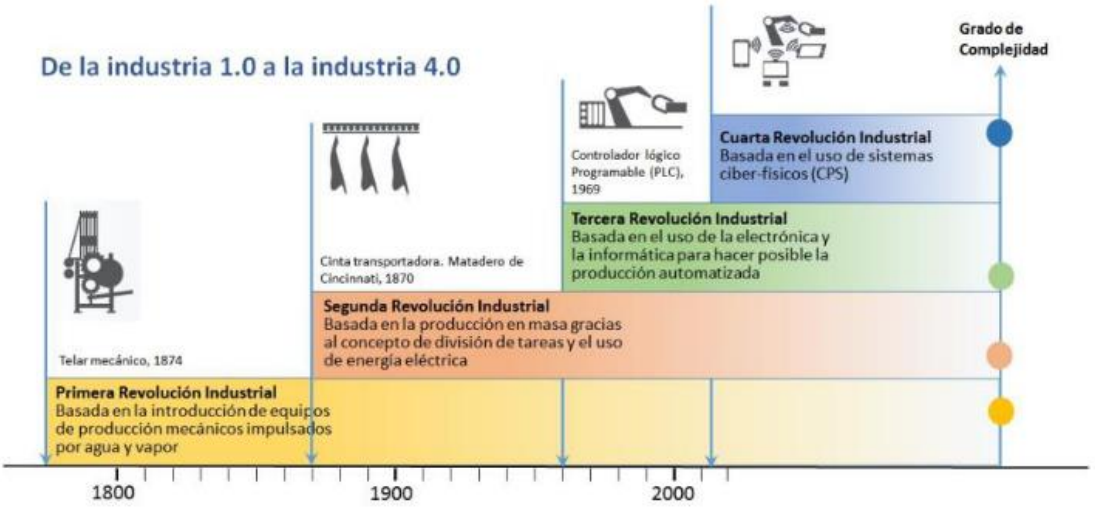


***Figura 7**. Revoluciones industriales en la historia*

***Fuente:**[30]*

El término “Industria 4.0” tiene su origen en Alemaniay hace referencia a un nuevo modelo de organización y de control del ciclo de vida de los productos mediante el empleo de las diversas tecnologías de la información[30]. Por otro lado, también es posible referirse a la industria 4.0 como “fabrica inteligente” dado que los procesos de fabricación se encuentran en una fase de transformación digital debido en parte al crecimiento y desarrollo de la informática y el software [30].

La cuarta revolución industrial se refleja en la completa digitalización de las cadenas de suministro y producción, observándose la búsqueda de nuevas tecnologías por parte de las empresas que les permite no solo obtener mejora en sus procesos sino también una reducción en gran medida de los costos generales, en perspectiva sistémica de la organización [33].

La producción de bienes y la oferta de los servicios al mercado se realiza en las empresas teniendo en cuenta las decisiones estratégicas, las cuales a su vez se basan en los cambios que se presentan en la sociedad. Ya sea por el surgimiento de nuevos productos innovadores por parte de organizaciones rivales o por la aparición de nuevas tecnologías que permiten a las empresas realizar sus respectivos procesos de una forma más eficiente, las empresas basarán la toma de decisiones en estos tipos de cambios. El papel que podrían desempeñar la tecnología habilitadora de la industria 4.0 en las empresas, puede tener un gran impacto en los costos que implican el diseño y desarrollo de un prototipo de producto y/o servicio que será lanzado al mercado, ya que con elempleo dedichas tecnologías habilitadoras de la industria 4.0 será posible realizar modificaciones tanto en el diseño como en la funcionalidad del producto de una forma virtual, por lo cual el tiempo de desarrollo que se requiere para lograr el producto ideal será menor.

4.1 Herramientas habilitadoras de la industria 4.0

A continuación, se presenta una descripción básica del conjunto más común de herramientas habilitadoras de la Industria 4.0 presentada por la Asociación Clúster de Automoción de Navarra (ACAN) [34]:

- **Cloud Computing**: es una forma de recibir servicios de almacenamiento, acceso y uso de recursos informáticos en la red, sin necesidad de servidores físicos fijos.
- **Fabricación aditiva**: elaboración de piezas gracias a la superposición de capas de material. Enfoca un archivo digital que, con ayuda de una impresora 3D, es capaz de elaborar piezas a partir de la adición de capa sobre capa.

- **Internet de las cosas**: es una forma de permitirle a los objetos cotidianos recibir información y procesarla a través del internet (véase el apartado *Internet de las cosas* para más detalles).
- **Inteligencia artificial, big data y analítica**: es la capacidad que presenta una computadora para el procesamiento de la información y la toma de decisiones basadas en dicha información, simulando el comportamiento humano.
- **Realidad virtual**: busca la elaboración de un entorno virtual que replique las características de un entorno real con el fin de permitir la interacción de dicho entorno con el ser humano.
- **Simulación BIM**: consiste en la representación de la realidad mediante elementos virtuales, que permita la integración de la información de un proyecto para la toma de decisiones en tiempo real (véase el apartado *Building Information Modeling (BIM)* para más detalles).

Para propósitos del presente trabajo, se presentará relevancia en el Internet de las cosas y la información de modelado de la construcción (BIM), permitiendo gestionar de forma íntegra el ciclo de vida de muebles para oficina abierta.

4.1.1 Internet de las cosas

Se puede definir el concepto de Internet de las Cosas como "un conjunto de dispositivos o cosas interrelacionadas entre si y, a su vez, conectadas a internet, a través del cual envían o reciben datos" [35] El internet de las cosas es un concepto usado para referirse al uso de elementos conectados a través del internet, que permiten caracterizar un fenómeno físico y tomar decisiones sobre éste. A finales del siglo XX, el internet era una herramienta que solo se usaba para la búsqueda de información, sin embargo, hoy día este uso se ha ampliado hasta convertirse en un uso de tipo social, transaccional y móvil [36].

Estableciendo una definición más formal, se tiene que el internet de las cosas es la capacidad de crear conexiones entre objetos del mundo cotidiano, procesos, internet y personas, logrando una interconexión en la cotidianidad, permitiendo compartir información y almacenarla si se desea en bases de datos propiamente creada para tal fin [36]. Esta capacidad permite, entre otras cosas, aumentar el número de nodos conectados, reduciendo los tiempos de trabajos en la red y generando un mayor flujo de información para la toma de decisiones. El internet de las cosas, en resumen, permite integrar sensores y dispositivos con objetos que se conectan a través de internet por medio de redes fijas e inalámbricas [37].

Esta capacidad del internet de las cosas se ha dado gracias a la creciente miniaturización de las computadoras personales, el nacimiento y auge de los teléfonos inteligentes, las tabletas y el cómputo en la nube, entre otros, que, como lo plantea [37], permiten la interconexión de objetos con acceso a internet con el fin de obtener datos relevantes de un ambiente. Adrián McEwen en su libro "Designing the Internet of Things", plantea que lo ideal aplicable al internet de las cosas es tener un gran número de dispositivos de menor potencial en vez de tener un número pequeño de dispositivos con un gran potencial de cómputo en su vida. Esta concepción permitiría ampliar la cobertura de la red para la adquisición y el procesamiento de la información del fenómeno.

Según [37], son tres los elementos que conforman el internet de las cosas: Objetos físicos o fenómeno real, controles, sensores y actuadores encargados de la recolección y la ejecución de las decisiones post análisis y finalmente, internet, estructura que permite la dinamización de las actividades.

En términos generales, se plantea una visión del internet de las cosas como sigue en la figura 8, en la donde el anillo superior abarca el concepto de internet y lo aplica en la toma de decisiones y medición de fenómenos como transporte, automatización, telefonía móvil, mediciones inteligentes, logística, entre otros. Amplias aplicaciones como vida digital, movilidad futura, ciudades inteligentes e industria 4.0 son presentadas por [35], mientras que [37] planea una amplia gama de aplicaciones en el ámbito de la salud: Servicio de emergencia inteligente, asistencia médica en lugares inteligentes, servicio de medicación inteligente, dispositivos biomédicos portátiles inteligentes, servicio de redes sociales enfocados en la salud, servicio de telemedicina.

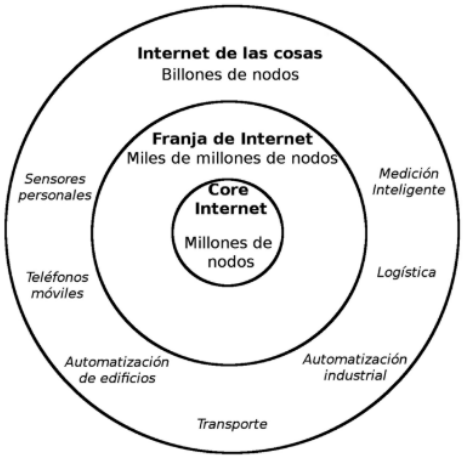


***Figura 8**. Visión del internet de las cosas*

***Fuente:** [38]*

4.1.2 Building Information Modeling (BIM)

The National Institute of Building Sciences define a la metodología BIM como "una representación digital de las características físicas y funcionales de una edificación que sirve como una fuente compartida de información que genera una base confiable para la toma de decisiones durante el ciclo de vida de la edificación desde el principio en adelante" [39]. BIM es una metodología usada para la planificación, el diseño, la construcción y la operación de un proyecto (que puede ejecutarse en campos como la arquitectura, la ingeniería y la construcción) el cual trata de recopilar en un modelo digital, toda la información ligada a cada una de las fases del ciclo de vida de dicho proyecto [40].No se tiene una definición exacta de BIM, sin embargo, se acepta que BIM presenta una integración de las fases del ciclo de vida del proyecto: gestión, diseño, análisis, documentación y activo, establecida por AUTODESK® en 2012.

Toda organización que tenga en sus planes poner en marcha un proyecto, siempre buscará nuevas técnicas para disminuir el costo del proyecto, aumentar la productividad, mejorar la calidad, y a su vez reducir el tiempo de entrega del proyecto. De esta forma, las técnicas de Modelo Integrado de Desarrollo (BIM) simula la construcción del proyecto en un entorno virtual, a partir del cual es posible obtener información geométrica (dimensiones y ubicaciones) que será indispensable en la ejecución de las actividades de planeación, diseño, construcción y operación. Sin embargo, estas técnicas BIM pueden ser aplicadas en cualquier etapa del ciclo de vida del proyecto, incluyendo el mantenimiento del mismo.

Como lo plantea Azhar, un modelo de información de construcción (BIM) tiene en cuenta la geometría, las relaciones espaciales, la información geográfica, las cantidades y propiedades de los elementos de construcción, las estimaciones de costos, los inventarios de materiales y el cronograma del proyecto[41]. Por lo tanto, esto permitiría que todos los individuos involucrados en el proyecto (Ingenieros, arquitectos, obreros, líderes del proyecto) puedan colaborar de forma conjunta de una manera más eficiente debido a la integración de todos los aspectos, disciplinas y sistemas de una instalación dentro de un solo modelo virtual. Es decir, la metodología BIM fomenta la integración de los roles de todas las partes interesadas del proyecto.

Siguiendo a [39], los elementos característicos de la metodología BIM son : documentación (planos, esquemas, etc), espacio tridimensional (visualización), tiempo (porgramación de obra), costo (presupuestos), aplicaciones operacionales y de diseño (análisis de eficiencia energética, ventilación,

iluminación, análisis estructural, etc) y aplicaciones relacionadas (logística, contratación, compras, manejo de proveedores).

BIM permite producir, comunicar y analizar modelos paramétricos bajo las siguientes características presentadas por [42]:

- Componentes digitales inteligentes que son asociados a gráficos computables y atributos de datos y reglas paramétricas.
- Los componentes mencionados anteriormente, contienen información de cómo se comportan, facilitando el analisis de procesos de trabajo, especificaciones y análisis de otros sistemas como lo es energético, por ejemplo.
- Permite la representación exacta de todas las vistas del proyecto al que se le este aplicando la metodología.
- Coordinación entre los diferentes modelos a que den lugar un proyecto; para el caso práctico de construcción de una edificación, la coordinación asciende al modelo estructural, arquitectónico, de datos, de intrusión y detección, hidrosanitario, de iluminación, red contra incendios, de seguridad, sonido, tomas, integrándolos en un solo modelo de coordinación que permite la identificación de elementos solapados para su corrección y validación con los requerimientos del cliente. Al poseer la misma información subyacente, BIM modifica todas las vistas a que den lugar si se presentan cambios. La figura 9 muestra la superposición de los diferetes sistemas en un proyecto arquitectónico (como ejemplo, bloque D de la Aduanilla de Paiba de la UDFJC).

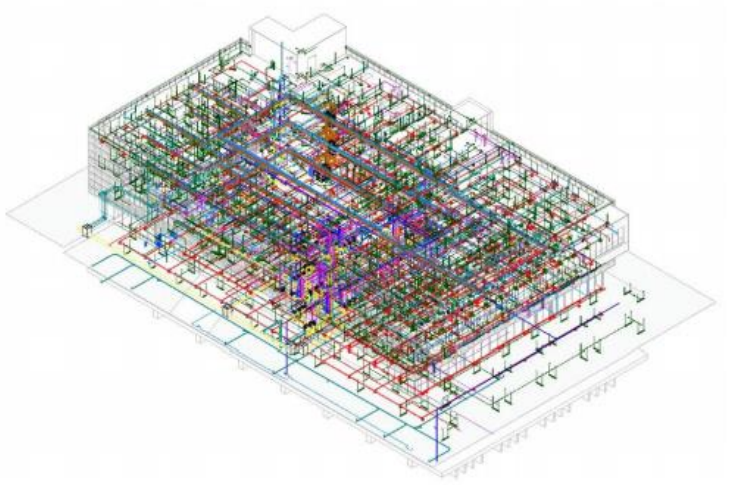


***Figura 9**. Modelo de coordinación proyecto bloque D Aduanilla de Paiba de la Universidad Distrital*

***Fuente**: [42]*

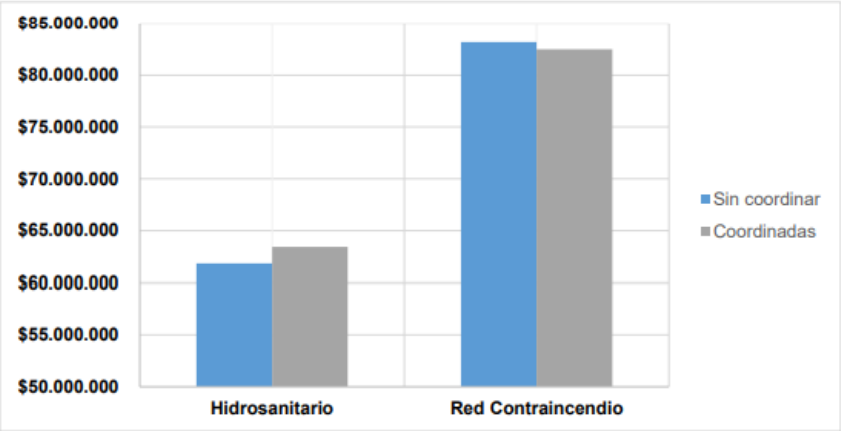
Aportes de BIM en las fases de un proyecto

Durante el desarrollo de un proyecto, la información que se genera se presenta en gran cantidad, por lo que BIM permite gestionar toda esa información y consolidarla en una herramienta para la toma de decisiones cuando se requiera. A continuación, se presentan los principales aportes generados por BIM en etapa de diseño, construcción, operaciones y mantenimiento, propuestas por CEMEX ventures:

- **Diseño y Planificación**: simulación, prototipado y análisis, son algunas de los momentos en que BIM permite gestionar la información y direccionarla para un uso particular. En etapa de diseño y planificación, BIM permite interactuar de forma activa con el modelado 2D, 3D y 4D (al permitir una visualización de la evolución del proyecto en el tiempo) generado por el software que se haya utilizado para tal fin, analizando rendimientos y comportamientos de los diferentes sistemas que componen el proyecto en cuestión.
- **Construcción**: permite generar intercambios de información entre los diferentes actores directos e indirectos del proyecto, mejorando tiempos de entrega y aumentando el grado de coordinación. Adicional, BIM permite comparar el estado actual del proyecto con el estado esperado en un momento puntual, brindando control a tiempos de entrega y permitiendo la detección de bloques que impiden el flujo adecuado de recursos y esfuerzos.
- **Operación y Mantenimiento**: permite gestionar el ciclo de vida de los productos y del proyecto en general, brindando al cliente la posibilidad de gestionar fechas de isntalación de sistemas o subsistemas, manejo de materiales, entre otros aspectos relacionados al mantenimiento y operación del poryecto (BIM permite gestionar desde la planificación hasta el fin del ciclo de vida de un proyecto).

Como ejemplo práctico de la aplicación de BIM en un proyecto (en este caso, edificio D del proyecto Aduanilla de Paiba de la Universidad Distrital), se puede observar el impacto en la gestión de BIM en la estructura de costos. La Gráfica 4 proporciona comparación de los costos asociados a los sistemas hidrosanitarios y red contra incendios con y sin coordinación (esto es, con uso de BIM y sin uso de este). Se concluye que “a pesar de que las variaciones porcentuales que tuvieron las cantidades de obra … no representan cambios sustanciales dentro del presupuesto,…, el hecho de que estas redes no esten coordinadas genera errores en obra a la hora de la instalación derivando inevitablemente

sobrecostos y demoras"[42]. Esta comparación de escenarios no presenta grandes cambios presupuestales, sin embargo, cabe resaltar que el proyecto evaluado por Cano Y Bermúdez es solo un subsistema del proyecto general, lo que podría signfiicar una mejora en la totalidad del presupuesto del proyecto y un mejor uso de los recursos, a la vez que disminuiría el tiempo derivado de errores en operación.



***Gráfica 4**. Costos de sistemas hidrosanotario y red contraincendios sin coordinación y con coordinación Bloque D Aduanilla de Paiba Universidad Distrital*

***Fuente**: [42]*

A nivel internacional, BIM ha sido utilizado en la industria de la construcción con eficiencia, presentando reducción de costos en las etapas de los proyectos y mejorando el proceso hasta llevarlo al pensamiento sistémico. Casos de aplicación como el Centro Acuático Nacional de Beijing, el Estadio Olímpico de Londres o la Restauración del Templo Ta Keo, son algunos de los proyectos que han incorporado BIM en el proceso y se han favorecido por su potencial y sus habilidades [39]. En términos generales, la integración del BIM (*building information modeling*) y las nuevas tecnologías de la industria 4.0 (*Internet of things IoT o cloud computing*) permitirán el intercambio de información acerca del rendimiento del proyecto (O de un producto) [43].

Actualmente, no solamente se pretende hacer uso de BIM para la construcción, sino que se pretende extender el concepto de integración de la información de un proyecto a productos de diversas áreas, razón por la cual se habla de BIM para fabricantes. Se busca convertir los diseños a objetos BIM, los cuales son representaciones digitales de productos con los metadatos asociados, que ayudarán a la toma de decisiones de las empresas y permitirá gestionar de forma sistémica en proyecto que se pretende simular [44].

Dentro de los sectores que más hacen uso de la metodología BIM, según [45] encontramos:

- **Arquitectura:** BIM apoya al recurso humano en el diseño de los proyectos. Con BIM, el profesional tiene la capacidad de percibir, a una temprana edad del proyecto, sus fases posteriores, incentivando a una posibilidad de mejora temprana. Entre los beneficios más notorios se tiene un proceso más fluido y realista, una facilidad de integrar el modelo visual y facilidad en el análisis posterior al diseño, la creación de relaciones entre múltiples campos como presupuesto, sistemas eléctricos si aplica, entre otros, y la facilidad que brinda para que otros profesionales entiendan la labor realizada.
- **Ingeniería Civil:** usando BIM, Big Data, Cloud Computing y Analytics, la aplicación en la ingeniería civil mejora la planificación, diseño, construcción y gestión de las infraestructuras a edificar. La Ingeniería de Transporte, Ingeniería Estructural y demás especialidades de estudio se ven beneficiadas gracias a la integración de los diferentes campos de acción que interactúan a la hora de llevar a cabo un proyecto propio de la Ingeniería Civil.
- **Sistemas MEP (Mecánica, Eléctrica y Plomería):** brinda ayuda en los diseños, detalles, estimaciones, fabricación e instalación de los sistemas MEP, de una estructura, mejorando los tiempos de planeación, ejecución y control. Adicional, reduce los niveles de desperdicios que se puedan generar como consecuencia de la integración de sus actividades con los demás sistemas involucrados en el proyecto.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de la aplicación de la metodología BIM alrededor del mundo:

Incubadora de la Universidad Macquarie – Australia

Con un área de 953 m^2, en el año 2017 se entregó a la Universidad Macquarie un par de pabellones que pretenden impregnar a la Universidad de un ambiente innovador, emprendedor e ingenio gracias a su diseño. “El edificio es exterior, con amplias y profundas terrazas y acristalamiento abstracto, a toda altura, junto con la mayor parte de la fachada, fomentando la actividad social en el borde del edificio, enmarcando vistas y ofreciendo una mezcla de espacios públicos y privados”[46]. Este proyecto fue diseñado y ejecutado gracias al uso de BIM 3D (producto final mostrado en la Figura 10 y diseño arquitectónico presentado en la Figura 11).

Figura 10. *Producto final de la Incubadora de la Universidad Macquarie en Australia*

Fuente: *[46]*

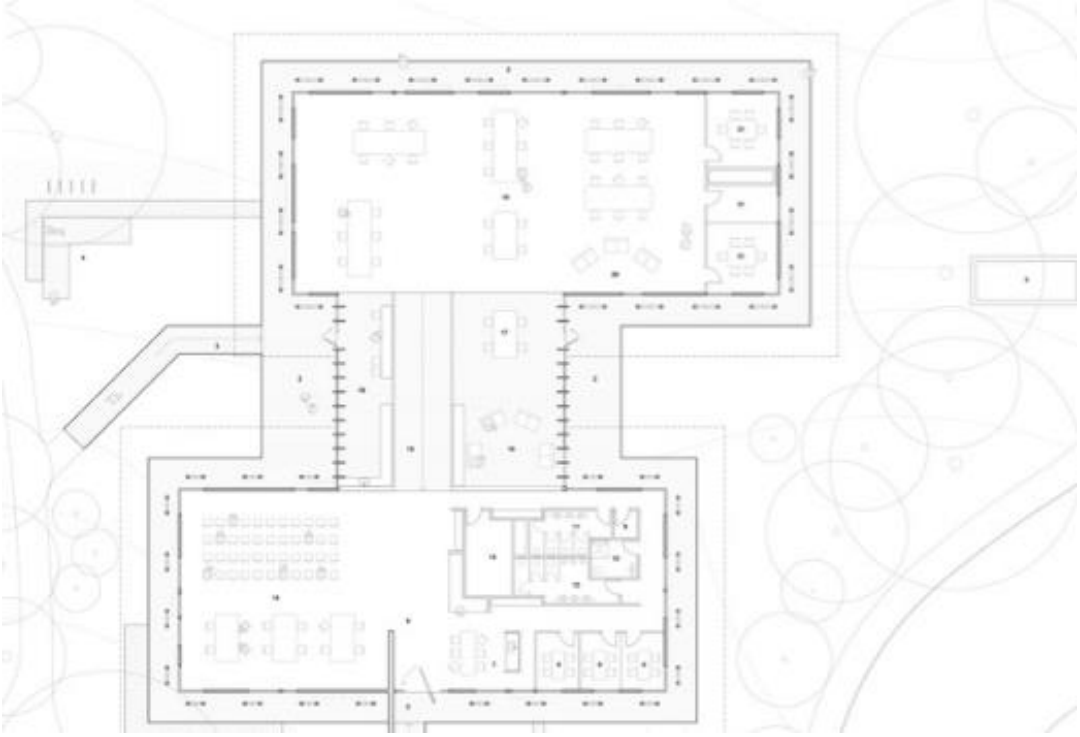


Figura 11. *Diseño computacional de la Incubadora de la Universidad Macquarie en Australia*

Fuente: *[46]*

Algunas herramientas BIM disponibles para el diseño de oficina

Las herramientas CAD son un buen sustento para la generación de planos bidimensionales y tridimensionales que permiten una interacción sencilla y amigable entre el modelado y el usuario. En este apartado, se mencionan, como casos de ejemplo, a algunas de las herramientas y empresas que ofrecen la posibilidad de gestionar objetos propios de la industria de muebles para oficina; una característica transversal a estas herramientas es la capacidad de no solo permitir una gestión de la geometría misma del objeto, sino de la información que subyace a dicho elemento.

Flexiform

Flexiform es una empresa internacional con sedes principales en Inglaterra y Escocia. Ofrecen soluciones de diseño de espacios para oficina a sus clientes, facilitando la adquisición de proyectos enteros gracias a su portafolio de soluciones íntegro. Desde el año 2014 han venido adoptando el Modelado de la Información de Construcción en sus *layouts,* en donde los objetos que usan para sus diseños presentan información técnica y geométrica que es incorporada dentro del proyecto una vez se vincula el objeto en el software. Su principal herramienta de diseño asistido por computadora es el software REVIT, el cual es uno de los sistemas más utilizados a nivel mundial cuando de proyectos BIM se trata. La Figura 12 muestra un ejemplo en 3D de unos de los proyectos gestinados por Flexiform.

***Figura 12**. Ejemplo de proyectos gestionados por Flexiform*

***Fuente**:[3]*

2020 Cap

Es una herramienta AutoCAD® que permite la planificación espacial. En esta herramienta se puede gestionar dibujos de proyectos y diseñar espacios [citar]. El software permite generar lista de

materiales basadas en la información de los objetos y apoyadas en catálogos de los fabricantes. Permite la inclusión de información del fabricante, jerarquías de proyectos, catálogos personalizados, facilitando la planificación de espacios y aumentando la precisión de los proyectos con una automatización avanzada del diseño [47]. Además, genera facturas de materiales a partir de dibujos de proyectos gracias a la vinculación de 2020 Cap con 2020 Worksheet; permite una sincronización entre ambas herramientas para la actualización de archivos de dibujo y hojas de trabajo. La Figura 13 muestra la interfaz de trabajo de 2020Cap, asi como la base de datos utilizada para la gestión de los productos ofertados.

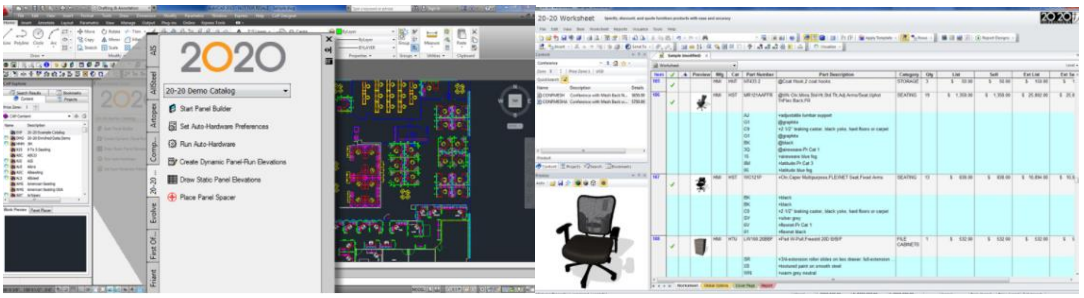


***Figura 13**. Interfaz de trabajo (Izquierda) y hoja de trabajo (Derecha) de 2020 Cap*

***Fuente:** [47]*

p. Con.planner

Es un software profesional enfocado en la planificación y diseño de interiores, el cual permite crear y amueblar casas, oficinas y diversos espacios a que den lugar. Permite la comunicación en forma renderizada, animada, visualización panorámica e interactiva [48]. Su formato nativo (DWG) facilita la compatibilidad con soluciones CAD como AutoCAD, por ejemplo. Permite, no solo crear el entorno arquitectónico necesario, sino que también facilita el proceso de especificaciones y configuración de productos. Ofrece al mercado tres versiones: versión gratiuta con el limitante de la configuración de productos y lista de artículos, pCon.planner ME estructurado para representantes de ventas y pCon.planner PRO dirigido a los proyectistas profesionales.

Empresa ACTIU

Empresa española dedicada a la fabricación de de muebles, especialmente para el hogar, pero que posee una línea para oficina. Especializada en el diseño y la fabricación de muebles para entornos de trabajo y *contract* [49]. Esta empresa presenta una librería REVIT/BIM que ofrece sillas de oficina,

mesas, sillas de colectividad, sillas d eespera, sillones de oficina, armarios para oficina, divisorias y mostradores que le permite al cliente la manipulación del modelo para personazarlo y utilizarlo en un esquema arquitectónico que desee, brindando la información técnica y geométrica del mismo para la gestión dentro del Modelado de la Información de Construcción. Con los archivos comprimidos para Revit se puede tener acceso al producto con materiales incorporados con el fin de realizar diversos renderizados fotorrealistas. La descarga de estos elementos es gratuita y la empresa Actiu busca con ello que el cliente tenga una vista personalizada y acceso a la información de sus productos de una manera más cómoda y flexible.

Software OffiCAD

Este software fue desarrollo por el grupo de investigación DIMSI (Diseño, Modelamiento y Simulación) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de caldas, en cabeza de los Ingenieros Julián Tristancho, Leonardo Contreras y Luis Vargas. El software permite la integración de un diseño asistido por computador generado en AutoCAD, con la información de los productos para la generación de una cotización para el cliente y una orden de producción para el área de manufactura de la empresa productora de muebles para oficina abierta [39]. Building Information Modeling se puede observar claramente al momento de la integración de especificaciones técnicas, costos, geometría del proyecto. El valor agregado de OffiCAD radica en la generación y actualización tanto de la orden de producción como de la cotización del proyecto si se llegase a modificar la geometría del mismo, evidenciando un alto grado de interacción entre cliente, diseñador y área de manufactura, característico de la metodología BIM. Se dedicará un apartado para mostrar las condiciones generales del software.

4.1.3 Gemelos digitales

El concepto de Gemelos Digitales aparece por primera vez gracias al profesor Michael Griffith de la Universidad de Michigan, USA [50], donde se pretende brindar una definición al uso que se le da a la tecnología y las herramientas computacionales en la vinculación de éstas en sistemas reales. [51] presenta una concepción clara y sencilla del término: “Un Gemelo Digital usa una copia digital del sistema físico para realizar la optimización en tiempo real”. De la definición expuesta anteriormente, dos elementos se extraen como característicos de un Gemelo Digital: primero, es una copia digital de

un sistema físico que permite interactuar de forma más sencilla y flexible, permitiendo ampliar el entorno de interacción para encontrar la mejor relación de los parámetros propios del fenómeno y, segundo, un Gemelo Digital presenta interacción con el fenómeno físico en tiempo real. Estos dos aspectos permiten tomar decisiones en un fenómeno físico cuando éste se encuentra en funcionamiento.

Los Gemelos Digitales, según [32], es la nueva ola en la modelación, simulación y optimización tecnológica, viéndolo desde la simulación, describiendo una visión bi-direccional que relaciona un artefacto físico con su modelo virtual. [31] hace una apreciación más formal del concepto y establece que un Gemelo Digital aplicado a la industria, "es esencialmente un sistema funcional de optimización continua de procesos, que se forma mediante la cooperación de líneas de producción físicas con una copia digital".

Siguiendo la concepción de [52] sobre un Gemelo Digital, se presentan tres características fundamentales:

a. Son un reflejo en tiempo real del activo físico.
b. Están completamente integrados con el activo real y pueden interactuar con los datos actuales e históricos del activo físico, lo que permite la mejora continua del Gemelo Digital.
c. Puede comparar y analizar directamente los valores pronosticados y medidos del activo físico.

Estas características permiten establecer una diferencia con respecto a la simulación clásica. Por su parte, [50] plantea la composición de un Gemelo Digital aplicado a una línea de producción como se muestra en la Figura 14:

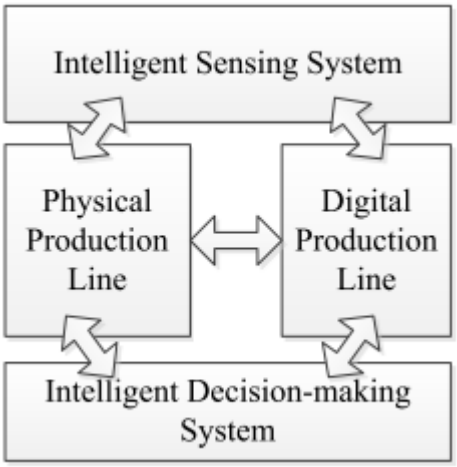


Figura 14. *Composición de un Gemelo Digital en una línea de producción*

Fuente*: [50]*

En este esquema, se pueden diferenciar, de forma clara y precisa, 4 aspectos que conformar un Gemelo Digital en un contexto generalizado: Fenómeno físico, modelo digital, sistema de detección inteligente y sistema de toma de decisiones inteligente. El fenómeno físico hace relación al sistema real de interés en el estudio, el modelo digital representa secuencias, datos en tiempo real impulsados, modelo de proceso y modelo de simulación, el sistema de detección inteligente hace relación a componentes como sensores inteligentes para la recolección de datos y finalmente, el sistema de toma de decisiones inteligente hace referencia al sistema para la optimización del proceso. Estos bloques, como lo plantea [53], "integrarán datos de ingeniería, de operación y de comportamiento conectándolos a través de una arquitectura propia".

Por su parte, [32], plantea un conjunto de propiedades del modelo de referencia para el modelo digital:

a. Escalabilidad: es la capacidad de proporcionar visión a diferentes escalas.
b. Interoperabilidad: es la capacidad de convertir, combinar y establecer equivalencia entre diferentes representaciones de modelos.
c. Expansibilidad: la capacidad de integrar, agregar o reemplazar modelos.
d. Fidelidad: es la capacidad para describir la cercanía al producto físico.

Estas propiedades permiten, en grandes rasgos, la adaptabilidad del modelo digital al fenómeno real y su capacidad en la toma de decisiones que permita la mejora, en tiempo real, del sistema.

En el marco de la visualización de la información relevante de un gemelo digital y su interacción con éste, se puede establecer un marco general:

a. Centro de visualización: la información recopilada se proyecta en pantallas donde se puede consultar, procesar o interactuar con el gemelo digital.
b. Visualización en VR: la visualización en realidad virtual permite no solo visualizar al gemelo digital sino también disponer de toda su información.
c. Visualización en realidad aumentada: mediante el uso de visores es posible consultar y actuar sobre la información del gemelo digital.
d. Visualización mixta: consiste en la mezcla de las anteriores opciones.

Algunos usos de los Gemelos Digitales se pueden ver en, como plantea [52], pronósticos de producción o para detectar anomalías de producción. Por su parte, [51] plantean usos en la NASA

para el monitoreo y la optimización de seguridad y confiabilidad de las naves espaciales. Los Gemelos Digitales son una muestra de la capacidad computacional para la toma de decisiones en entornos reales que permitan una mejora en los procesos y garantice una dinámica rápida y en tiempo real. Cabe aclarar que no todas las empresas se encuentran en la capacidad de implementar un gemelo digital ya sea porque no cuentan con sistemas sensoriales o por la falta de músculo financiero para realizar el tratamiento y la gestión de una gran cantidad de datos en tiempo real.
A continuación, se presentan algunos ejemplos prácticos de gemelos digitales:

Monitorización de la Integridad Estructural de un Componente mediante Gemelos Digitales

El trabajo desarrollado por [54] plantea la aplicación de un gemelo digital con el fin de monitorear el comportamiento estructural de un componente en tiempo real. En síntesis, se desarrolló una estructura que simula una grúa pórtico a escala pequeña, una caracterización de la estructura y de su dinámica con ayuda de la Teoría de la Elasticidad y la Simulación Numérica. Para la adquirir la información de la estructura, se utilizó galgas extensiométricas (herramienta que permite convertir magnitudes mecánicas en mediciones eléctricas) que ayudaba al monitoreo de la estructura.
Una de las conclusiones del ejercicio práctico radica en que “el trabajo demuestra la posibilidad de realizar una monitorización continua de las tensiones alcanzadas en una estructura para garantizar su integridad estructural mediante gemelos digitales”[54]. Los niveles de satisfacción del ejercicio fueron altos, al punto de asegurar niveles de confiabilidad tolerables de la gestión de los gemelos digitales en los niveles de tensión y fatiga de las estructuras con ayuda de sensores como elementos alimentadores del entorno virtual al captar información del entorno real. Las Figuras 15 y 16 muestran, respectivamente, el modelado tridimensional de la estructura que asemeja a una grúa pórtica y el resultado de la deformación por fuerzas externas actuando sobre el cuerpo.

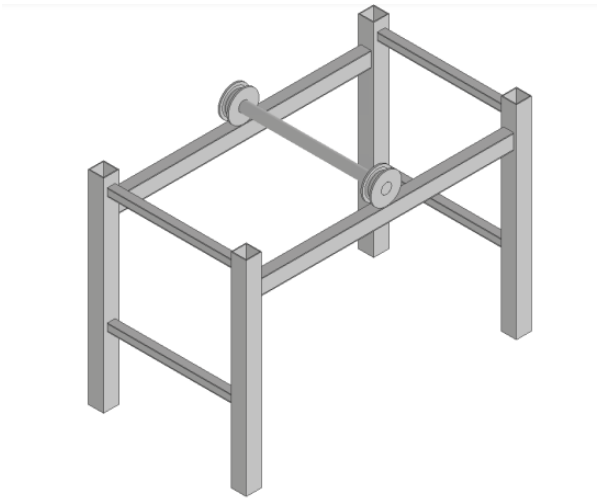


Figura 15. *Modelo 3D de la estructura a analizar*

Fuente: *[54]*

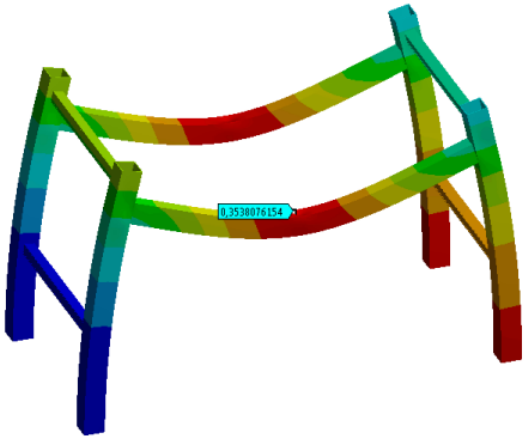


Figura 16. *Resultados de deformación en el gemelo digital para una carga centrada de 100 Kg*

Fuente:*[54]*

Gemelo Digital para una fábrica de Refrescos como emulador del comportamiento

En este trabajo, se buscó la emulación de un sistema Festo MPS PA 204 (sistema modular enfocado al aprendizaje de mecatrónica; posee cuatro estaciones, a saber, filtración, reactor, mezcla y envasado). La Figura 17 muestra el sistema Festo MPS PA 204 como la integración de diferentes plantas de procesamiento.

***Figura 17**. Sistema Festo MPS PA 204*

***Fuente:** [52]*

Entre las principales conclusiones que se pudieron extraer del ejercicio, se encuentran:

- Disminución de costes y tiempos de producción en el sistema físico.
- Mejora de procesos.
- La capacidad de realizar modificaciones en el gemelo digital sin necesidad de interactuar directamente con el fenómeno real.

El nivel de desarrollo alcanzada para este proyecto fue del 95%, siendo el elemento faltante para su completa aplicación la conexión en tiempo real de la máquina física con el modelo digital.

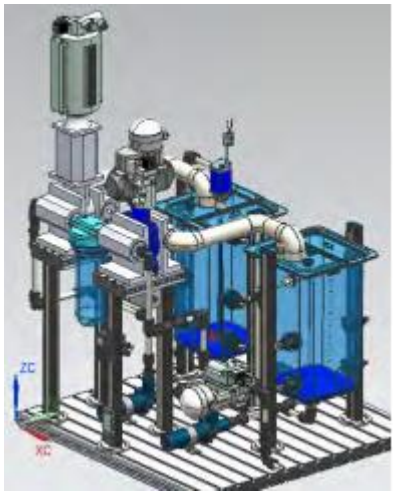


***Figura 18**. Ejemplo de la planta virtual de filtración, gemelo digital de la planta real de filtración*

***Fuente**: [52]*

Así como se pudo conseguir la caracterización virtual de la planta de filtración, también se consiguió para la planta de reactor, la planta de mezcla y la planta de llenado. En la Figura 19 se presenta la planta virtual en su totalidad.

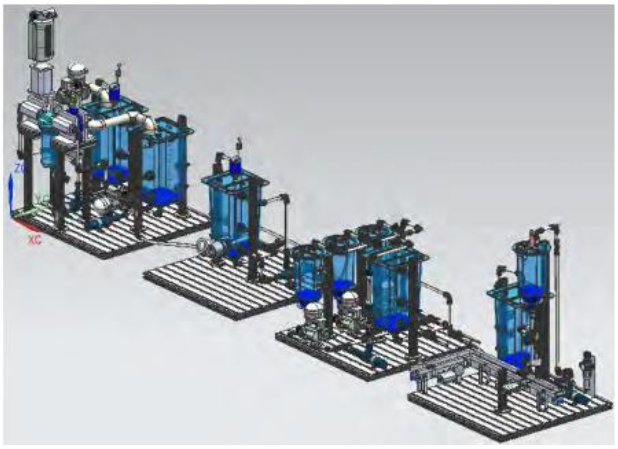


Figura 19. *Representación virtual de la planta real de refrescos (Gemelo Digital)*

Fuente*: [52]*

Capítulo 3 Desarrollo metodológico

1 Introducción

El uso de las diferentes herramientas que acompañan a la cuarta revolución industrial en las organizaciones se ha convertido en el factor diferenciador en el mercado, en donde quien no las gestione, no solo perdería competitividad (productividad y estrategia), sino que estaría en riesgo de desaparecer. Estas organizaciones deberán encontrar la manera de vincular y acoplar las diferentes tecnologías que ofrece el siglo XXI con la estructura tradicional que usan para su gestión, a fin de mejorar continuamente sus procesos y satisfacer las necesidades de sus clientes.

En este capítulo se revisa el nivel de aplicación de algunas herramientas habilitadoras de la industria 4.0 en el sector de muebles para oficina abierta, a la vez que se describe el funcionamiento general de la herramienta *OffiCAD* como complemento de sistemas con motor IntelliCAD y gestor del Modelado de la Información de Construcción de los proyectos desarrollados. Adicional, se describe el proceso que se lleva a cabo en la industria bajo la perspectiva teórica y el conocimiento práctico del Arquitecto Daniel Verdugo, junto con la descripción del proceso de instalación, sus fortalezas y debilidades en su desarrollo actual y se presenta una propuesta de marco de trabajo que servirá como insumo para desarrollo posteriores referentes al tema.

2 BIM aplicado a la industria de muebles para oficina abierta

Building Information Modeling (BIM por sus siglas en inglés), se puede considerar como una ampliación del enfoque Computer Aided Design (CAD por sus siglas en inglés) tradicional mediante aplicación de relaciones inteligentes entre elementos del modelo de construcción [55].En este sentido, BIM se considera una metodología habilitadora de la información en cuanto permite una visión general de los elementos de un proyecto y su interacción entre ellos.

Con el fin de determinar el nivel de vinculación entre el modelado de la información de la construcción BIM en la industria de muebles para oficina abierta, se hizo uso de la herramienta VOSviewer como constructor de redes bibliométricas. En esta búsqueda, se tuvieron en cuenta dos términos en conjunción lógica: *Building Information Modeling* AND *Office Furniture*. Como fuente de información para la construcción de la red bibliométrica, se hizo uso de la base de datos Scopus.

Como resultado (Figura 19), se puede observar que existe conexión entre el nodo “office building” con el nodo “Building Information Modeling”, esto es, se ha utilizado el concepto BIM en edificios para oficina, sin embargo, al realizarse una búsqueda más detallada sobre la aplicabilidad del modelado de la información de construcción a proyectos generados por las empresas ofertantes de muebles para oficina abierta, se llegó a la conclusión que no existen grandes cantidades de trabajos de investigación enfocados a la vinculación de BIM con proyectos ofertados por el sector de muebles para oficina. El trabajo que mayor énfasis hace en el uso de la metodología BIM para proyectos de muebles para oficina abierta se vincula a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá-Colombia y, en especial, al grupo de investigación DIMSI – Diseño, Modelamiento y Simulación [7].

En la búsqueda realizada, se encuentra un acercamiento significativo entre el modelado de la información de construcción BIM con los muebles para oficina abiertos realizado por[7] y especificado en el apartado 4 del capitulo 2 (Flexiform, 2020cap, p.con.planner, software desarrollado por la empresa ACTIU, OffiCAD, como ejemplos especificados en este documento). En este, la elaboración e implementación del software *Offi*CAD permite generar, no solamente el diseño computacional de muebles para oficina, sino adicional, órdenes de producción para la empresa y cotización para el cliente, como resultados de un sistema integrado y basado en la información de dichos proyectos. Más allá de este trabajo mencionado anteriormente, la aplicación directa de BIM en un proyecto de muebles para oficina se hace nulo, mientras que, de forma indirecta, BIM se ha aplicado en la industria de muebles para la elaboración de las instalaciones de las empresas (véase [56] como ejemplo), sin embargo, para fines de este trabajo, no es el enfoque que se requiere.

Como se muestra en la Figura 20, el término BIM se encuentra vinculado, en su mayoría, con construcciones, pues es donde se fundamenta su mayor uso actualmente, facilitando el conocimiento interdisciplinario de los proyectos de construcción. BIM representa digitalmente el proceso de construcción y la interoperabilidad a lo largo del ciclo de vida de un proyecto [57].

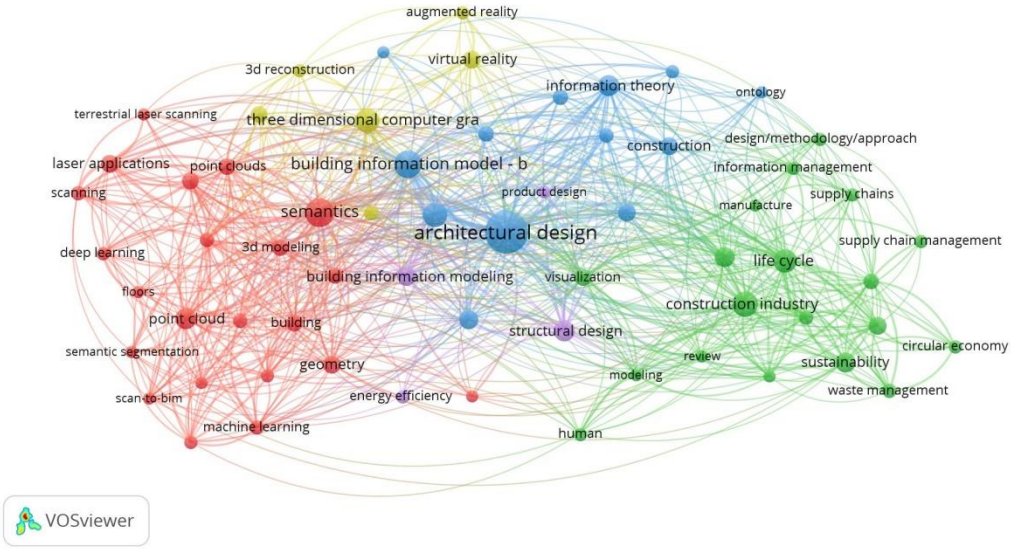


***Figura 20**. Red bibliométrica "BIM and Office Furniture"*

***Fuente**: Elaboración propia con ayuda de la herramienta VOSviewer*

3 Habilitadora de la industria 4.0 en el ciclo de vida de proyectos de muebles para oficina abierta

Dentro del contexto de la Industria 4.0, algunas herramientas utilizadas para gestionar las diferentes etapas del ciclo de vida del producto se evidencian en la Figura 21, siendo sumamente usadas por las empresas, en donde, cerca del 85% de éstas han decidido acoplar habilitadoras de la industria 4.0 en sus entornos y en donde los primeros en adoptar dichas herramientas presentan una reducción de costos en un 30% [58].

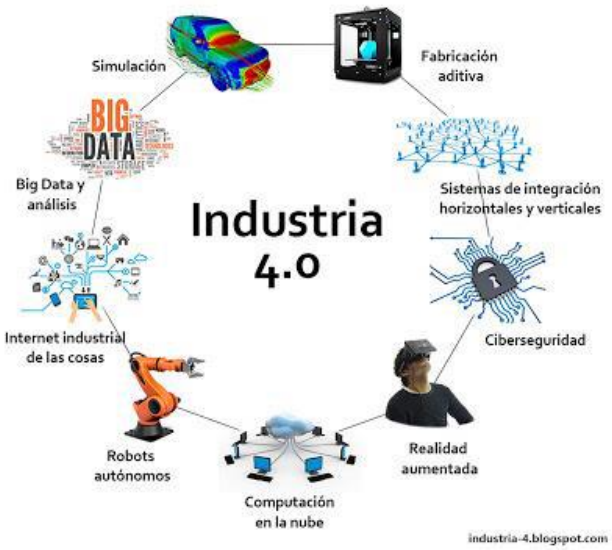


***Figura 21**. Algunas herramientas de la industria 4.0*

***Fuente**: [59]*

Autores como [60], [61] y [62] establecen una serie de conceptos y trabajos realizados con la ayuda de las herramientas habilitadoras de la industria 4.0 para la gestión del ciclo de vida de los productos.

Se define el Análisis del Ciclo de Vida o ACV como un método estándar para la evaluación del comportamiento sostenible de los sistemas en su dimensión ambiental [60]. Este autor plantea una inclusión de las herramientas de la industria 4.0 al ACV mediante sensores inteligentes que permitan obtener datos en tiempo real del producto en cada una de sus etapas, y con ayuda de *Cloud Manufacturing Platform*, dicha información se almacena para la creación de bases de datos robustas que sirven de facilitadoras a la hora de la toma de decisiones, generando ambientes ciber-fisicos. Sin embargo, la aplicación de estos sensores y el uso de información para la toma de decisiones se limita desde la fase de diseño hasta la fase de venta, gestionando el producto solamente en el proceso de producción.

Por su parte, [61] plantea el concepto de productos inteligentes y conectados o SCP por sus siglas en inglés (Smart, Connected Products) que son productos con alta densidad de información que usan computación en la nube, IoT y sistemas ciberfísicos para gestionar diversas etapas del ciclo de vida. La implementación de una arquitectura abierta, inteligente y conectada del producto propuesta por [61], presuponen una participación activa del cliente en la fase de diseño, comprometiéndose a diseñar su producto de forma personalzida con ayuda de software CAD, así pues, se tiene como resultado SCOAP (Smart, connected open architecture product), un producto impulsado por la tecnología de la información que consta de componentes físicos, inteligentes y de conectividad, con una plataforma que contiene conjuntos de herramientas tanto de hardware como de software abiertos, que permite la integración de módulos de diferentes fuentes para adaptar el

producto y su funcionalidad de servicio exactamente a las propias necesidades del usuario a lo largo del ciclo de vida[61].

Los elementos claves de esta propuesta (conexión inteligente, apertura, modo de funcionamiento basado en datos, servidumbre y sostenibilidad) permiten incluso predecir un conjunto de información basados en datos históricos y datos del contexto real, sin embargo, estos aspectos son considerados en productos complejos, que como lo definen [62], se refieren a una categoria de productos que conllevan un conjunto de tecnologías complejas, tales como aeronaves o automóviles, por esta razón,

se hace necesario definir las categorias de los productos según su nivel tecnológico y su capacidad de conectividad que se muestran en la Tabla 6**.**

Category	Type/definition	Examples
Major tendency	UP	Shoes, doors, knives, etc.
	SP	Automobiles (general), robot arms, etc.
	SCP	Smart phones, iPaDs, Tesla cars, etc.
	SCOAP	Personalised iPaDs, Tesla cars, etc.
Other types	SOAP	Customised automobiles (general), etc.
	OAP	Lego bricks, etc.
	CP	Wired telephones, water pipes, etc.
	COAP	Scalable hubs, etc.

Tabla 6*. Categorías del producto según conectividad y tecnología.*

Fuente*: [61]*

En la tabla 5 se pueden evidenciar los tipos de productos generalizados tales como:

- UP: productos físicos sin ningún componente inteligente y/o conectado.
- SP: productos físicos con componentes inteligentes.
- CP: UP con componentes conectados.
- SOAP: productos inteligentes con arquitectura abierta.
- COAP: UP con componentes conectados y arquitectura abierta.

Los muebles de oficina abierta son, por su parte, productos categorizados según la tabla 5**,** como productos “UP”, pues dadas las condiciones de la oferta actual masiva, son módulos sin ningún componente inteligente, por lo que, una vez instalados en el centro de uso, no se tiene un sistema de verificación continua ni discreta del estado del mueble que permita tomar decisiones referentes a necesidades de cambio por desgaste natural o fracturas por fuentes externas, o remanufactura por variación de las condiciones físicas del ambiente en el cual se encuentra instalado.

Se define en [62] y [63] el concepto de Gestión del Ciclo de Vida del Producto o PLM (Product Lifecycle Management) como la gestión y seguimiento en todas las etapas del vida del producto, especialmente en la etapa de utilización, presentando un servicio basado en datos con ayuda de las Tecnologías de la Información, en el que los datos del producto se comparten desde la fuente de la toma de éstos y la empresa. Cabe aclarar que esta definición se hace enfocados a productos complejos, por lo que se hace necesario una mirada de la gestión del ciclo de vida a productos “UP”.

Se evidencia que existe una fuerte conexión entre las herramientas habilitadoras del ciclo de vida de un producto siempre y cuando el producto contenga tecnologías complejas, permitiendo la extracción de información del estado del producto para la toma de decisiones de manera tradicional o por medio de inteligencia computacional, sin embargo, para productos no integrados por tecnologias complejas, se presentan limitaciones a la hora de la gestón de servicio pos venta, pues su composición impide la integración de módulos complejos para tal fin.

4 Software *OffiCAD*

La herramienta OffiCAD es un complemento de los programas enfocados al Diseño Asistido por Computador (CAD por sus siglas en inglés), por esta razón, antes de introducirnos a las generalidades de esta herramienta, se establecerán algunos elementos conceptuales relacionados al CAD.

4.1 Diseño Asistido por Computadora (Computer Aided Design)

El Diseño Asistido por Computadora es una forma eficiente de diseño que consiste en el uso de un conjunto de programas computacionales enfocados en crear, modificar, analizar y documentar elementos gráficos (en 2 y 3 dimensiones) de un objeto físico [64]. CAD es una alternativa a las metodologías tradicionales de diseño y a los prototipos de productos. El uso de CAD en la industria permite consolidarse como parte integral de la gestión del ciclo de vida de un proyecto, reduciendo costes de desarrollo, aumentando la velocidad de diseño y mejorando la calidad. El Diseño Asistido por Computadora permite interactuar con multiplicidad de variantes del proyecto, estableciendo un abanico de posibilidades de elección para el diseñorador, ingeniero o persona encargada.

A continuación, se presentan algunas caracterísitcas del Diseño Asistido por Computadora presentadas por [65]:

- Permite crear piezas con geometría adaptativa que cambian con el tiempo con solo variar ciertas dimensiones o parámetros.

- Se puede simular mecanismos que permiten observar las diferentes posiciones del mismo y evaluar que no existan interferencias entre piezas.
- Se puede realizar análisis de esfuerzos a piezas con geometría compleja a tiempo de ejecución, con el fin de encontrar fallas en el diseño con un alto grado de facilidad y, de esta forma, generar los cambios pertinentes referentes a dimensiones y/o materiales.
- El tiempo de elaboración de propuestas se reduce por la eficiencia que permiten alcanzas los softwares enfocados en CAD.
- Permite realizar planos de acuerdo a las normas de dibujo mecánico, que se pueden adaptar fácilmente ante cualquier cambio y con capacidad de cambio de escala.

Por su parte, [64] plantea un conjunto adicional de características complementarias a las ya mencionadas:

- CAD permite agilizar el proceso de diseño, mejorar la visualización de los subsistemas, de las piezas y del producto final.
- Permite reutilizar fácilmente los datos de diseño y las mejores prácticas.
- Se puede obtener una documentación más sólida y sencilla del diseño, incluyendo geometría, dimensiones y composición en términos de materiales.

Las aplicaciones del Diseño Asistido por Computador abarcan múltiples disciplinas, entre las que se destacan:

- **Sector Aeroespacial y de Defensa**: en el desarrollo de sistemas con la finalidad de encontrar rendimientos mejores.
- **Automoción y Transporte**: buscando la integración de tecnología, software y sistemas electrónicos en los productos de movilidad.
- **Sector Minorista y de Producto de Consumo**: permite una formulación integrada, un diseño en el proceso de embalaje y en toda la línea de producción.
- **Componentes Electrónicos y Semiconductores**: busca el uso de la información como fuente de desarrollo, mejorando la capacidad de los dispositivos y aliviando la estructura de costos a nivel comercial.
- **Energía y Suministros**: permite el diseño y gestión de los sistemas importantes del sector.

- **Maquinaria Industrial y Maquinaria Pesada**: mejora en las herramientas utilizadas, los procesos y el diseño especificado.
- **Sector Naval**: eficiencia en el diseño y en la producción de flotas navales.
- **Dispositivos Médicos y Productos Farmacéuticos**: personalización en los productos quirúrgicos y reducción en la estructura de costos.

En términos generales, las herramientas utilizadas para CAD permiten una agilización en el diseño y producción de un conjunto amplio de proyectos, mejorando el rendimiento y la estructura de costos intrínseca en cada proyecto; una agilización en el diseño y producción se traduce en proyectos más rápidos, mejor planificados y con un mayor grado de calidad frente a los proyectos tradicionales que no usan herramientas CAD.

4.2 Condiciones generales del software *OffiCAD*

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, y en particular, el grupo de investigación Diseño, Modelamiento y Simulación DIMSI, desarrolló la herramienta *OffiCAD* como una herramienta que integra los elementos del Diseño Asistido por Computadora y permite generar diversos proyectos enfocados al amueblamiento modular tales como proyectos de oficina abierta, cocinas, decoración de diferentes ambientes, entre otras iniciativas enfocadas en esa línea (amueblamiento modular), con el fin de automatizar las diversas etapas que los subyacen y, en paralelo, permitir la disminución de los errores de diseño y ajuste necesarios, orientado a las empresas pequeñas y medianas.
A continuación, se presentan las principales funciones y caracteristicas de la herramienta *OffiCAD*, información recolectada del video *OffiCAD Sistema automático de diseño para oficina abierta* que se encuentra disponible en [66]:

Funciones principales

- Generación asistida de vista de planta del proyecto en costrucción.
- Verificación de integridad del diseño mediante reglas computacionales variables.
- Generación a partir de la vista bidimensional de una base de datos del proyecto completo.

- Cruce de información mediante consultas personalizadas para generación de listas de partes, cotizaciones a clientes, ordenes de producción, etc…
- Generación de vista tridimensional del proyecto completo, incluyendo información de materiales y acabados (render foto realista).

Principales Caracteristicas

- Manejo de librerias gráficas: OffiCAD configura la totalidad de interfaz por medio del manejo de una base de datos externa, que puede ser configurada para el manejo del producto.
- Generación de vista 3D: puede generar una vista 3D a partir del diseño 2D creado por el usuario, configurando individualmente las características de acabado y generando en tiempo de corrida los paneles.
- Reportes y tablas personalizadas: el usuario puede incluir consultas personalizadas en la plantilla de la base de datos del dibujo. Es posible generar tablas de información extra para producción, compras, manejo de inventario, etc…
- Amplio rango de integración: puede trabajar con un amplio rango de versiones de AUTOCAD, versiones: 2000, 2000i, 2004, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011.
- Integración con CAD de bajo costo: soporta actualización a sistemas asistidos por computador de bajo costo, basados en motor IntelliCAD (ejm, ProgreCAD, ZwCAD, BrisCAD, etc).
- Personalización: debido a su diseño completamente independiente, es posible personalizar en su totalidad diferentes etapas del diseño a las condiciones comerciales y técnicas de la empresa.

OffiCAD es una solución de bajo costo que busca potenciar las funciones de diseño y especificaciones técnicas de los productos ofertados por el sector de amueblamiento modular, a su vez que se consolida como un integrador del Diseño Asistido por Computadora y del Modelado de la Información de Construcción de los proyectos trabajados con la herramienta, al permitir no solo facilitar la inserción de elementos propios del sector, sino además, consolidar la información técnica de los elementos utilizados, facilitando la consulta de costo total del producto y de los elementos utilizados (véase la Figura 22. *Estructura de funcionamiento de OffiCAD*), mejorando la interacción cliente-empresa y los procesos internos de producción, inventario, compras de materias primas, entre otros.

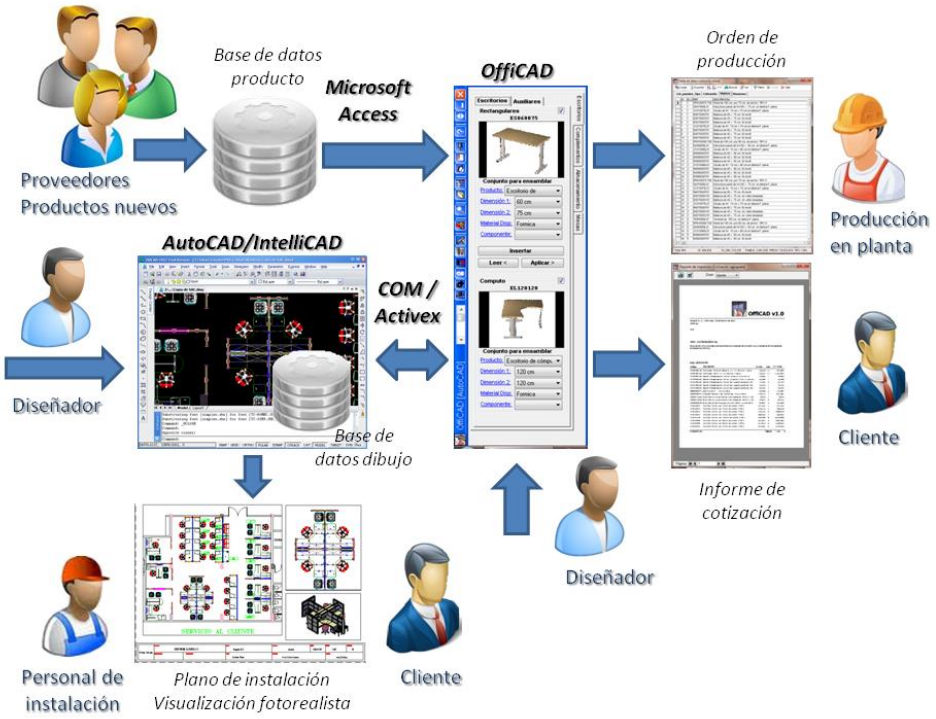


***Figura 22**. Estructura de funcionamiento de OffiCAD*

***Fuente:** [39]*

Las especificaciones generales del software *OffiCAD,* así como su interfaz gráfica, se determinan en el *Anexo 1. Estructura y funcionamiento de OffiCAD.* El software presenta una interfaz amigable con el diseñador, facilitando el acceso a ésta a partir de las herramientas de configuración general de AutoCAD, con botones que ayudan a la selección y configuración de muebles modulares tales como escritorios, mesas auxiliares, paneles divisorios, entre otros.

4.2.1 Análisis DOFA de la herramienta *OffiCAD*

Durante este apartado se han presentado un conjunto de cualidades en el funcionamiento y estructura de *OffiCAD*, en especial por su integración con programas CAD de bajo costo, su capacidad de integración entre el Modelado de la Información de Construcción y el diseño, para brindarle al cliente y a la empresa un sistema automatizado, sin embargo, es una herramienta con un campo de mejora enorme gracias a los desarrollos tecnológicos inmersos en la industria 4.0. A continuación, se presenta

un análisis de las debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas de *OffiCAD,* así como un conjunto de estrategias propuestas por el autor para gestionar los elementos identificados en la matriz DOFA.

La herramienta *OffiCAD,* aunque se perfila como motor de automatización de un conjunto de procesos del sector de amueblamiento modular, requiere de algunas mejoras que permitan posicionarla como un apoyo BIM y CAD de la industria de muebles y, en general, de las PYMES que requieran potencializar su actividad económica. Para futuros trabajos dentro de la rama de investigación, se espera la puesta de marca de las estrategias aquí planteadas.

ANÁLISIS DOFA **Herramienta automática de diseño para oficina abierta *OffiCAD***	**OPORTUNIDADES**	**AMENAZAS**
	1. Ampliación de compatibilidad con AutoCAD, incluyendo versiones desde el 2009 hasta la actual **2.** Visualización previa de objetos más realistas, con facilidad de movilidad espacial para el proceso de detalle dinámico previa aplicación al proyecto. **3.** Actualización del Front End **4.** Amplitud de uso de la herramienta y uso de la misma en otros sectores industriales. **5.** Conexión a sistemas en la nube.	**1.** Desarrollo de herramientas similares por grandes empresas. **2.** Cambios en las condiciones de compatibilidad con AutoCAD por regulación del software. **3.** Cambios en las regulaciones del sector de amueblamiento modular que configuren los procesos internos.
FORTALEZAS	**ESTRATEGIAS FO**	**ESTRATEGIAS FA**
1. Herramienta de bajo costo **2.** Integración con CAD basados en motor IntelliCAD **3.** Capacidad para personalizar **4.** Reportes tales como cotizaciones u órdenes de producción **5.** Interfaz amigable con el usuario **6.** Vista tridimensional del proyecto diseñado **7.** Capacidad de verificación de integridad del proyecto	**1.** Desarrollo de la herramienta en interfaz gráfica y detalle de los objetos en visualización previa a la aplicación en el proyecto. **2.** Desarrollo de entorno de trabajo en web, facilitando su uso desde cualquier lugar con conexión a internet. **3.** Ampliación del mercado objetivo de la herramienta, permitiendo diversificación en su uso. **4.** Ampliación con las versiones de AutoCAD para su integración	**1.** Mejorar los costos asociados al acceso y uso de la herramienta por parte de las PYMES **2.** Permitir, en la configuración de la herramienta, la flexibilidad de compatibilidad a partir del uso de sistemas de uso masivo requeridos en el Back End. **3.** Establecer contacto directo con las empresas, con el fin de recibir elementos que ayuden a la realimentación y mejora de la herramienta.
DEBILIDADES	**ESTRATEGIAS DO**	**ESTRATEGIAS DA**

1. Desconocimiento de la herramienta a nivel industrial **2.** Dificultad de gestión del Back End por parte de la empresa **3.** Incapacidad de actualización de la información de diseño en el lugar de instalación por parte del personal encargado. **4.** Diseño disponible solamente en el equipo de cómputo físico **5.** Actualización manual de la base de datos de los productos y sus costos	**1.** Estrategias de Marketing que permitan llegar a profundidad en el sector que se vaya a usar la herramienta. **2.** Elaboración de sistemas de información que permitan el entendimiento del Back End para su gestión referente a la base de datos de los productos. **3.** Facilitar mecanismos que permitan la conexión con proveedores de material para la actualización automática de la estructura de costos. **4.** Establecer mecanismo de integración entre la etapa de diseño y la etapa de instalación del proyecto en tiempo real, facilitando su actualización en cotización y órdenes de producción a partir de las especificaciones en el momento de la instalación.	**1.** Sistemas de capacitación integrados en la herramienta, que hagan fácil y amigable la interacción con la herramienta. **2.** Desarrollo de mecanismos de integración entre las preferencias del cliente y la oferta del sector. **3.** Ajustes de la herramienta *OffiCAD* a las modificaciones del software AutoCAD de forma periódica.

Tabla 7. *Matriz DOFA herramienta OffiCAD*

Fuente: *Elaboración propia*

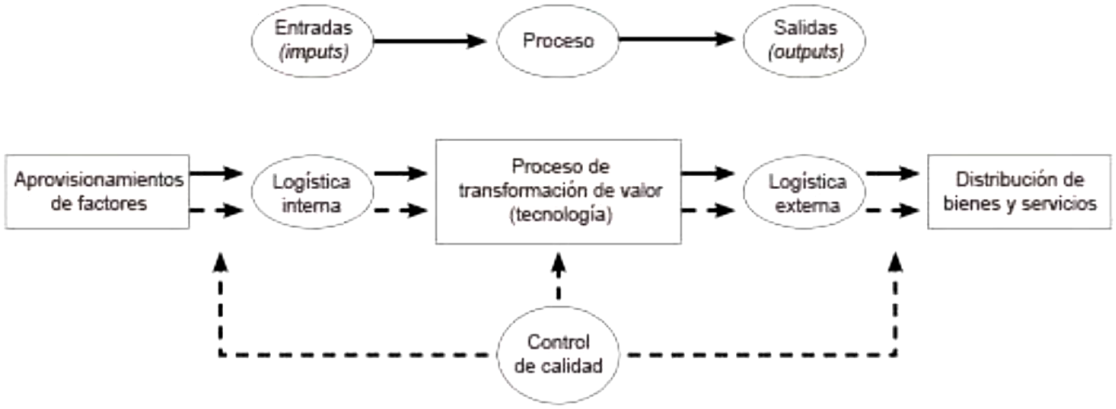
5 Orden de producción

El proceso que permite la entrada de un cliente con una necesidad a una empresa ofertante de muebles para oficina abierta y la salida de un cliente satisfecho puede variar según el tamaño de la empresa, su estructura de producción, su servicio al cliente, entre otras variables, razón por la cual, se necesita una breve contextualización de los sistemas de producción básicos trabajados dentro de la rama de Ingeniería Industrial.

5.1 Sistema de producción

Se puede definir al sistema de producción como un conjunto de diversos elementos (insumos, procesos, productos, flujo de información) que conectan a una organización con el cliente y el entorno exterior [67]. En este sentido, se pueden diferenciar dos tipos de sistemas productivos genéricos:

- **Sistema Cerrado:** interactúan con relaciones de causa-efecto definidas y un nivel predeterminado de interacción con el entorno.
- **Sistema Abierto:** relaciones de causa-efecto no definidas y un nivel de intercambio de información y/o recursos con el entorno externo elevado. Dentro de esta clasificación se encuentra inmerso el conjunto de empresas catalogadas como PYMES en Colombia, y en general, cualquier empresa.



***Gráfica 5**. Estructura de un sistema de producción*

***Fuente:**[67]*

En la estructura básica de un sistema de producción (Gráfica 5), se pueden evidenciar el ingreso de insumos al proceso, acompañado con una serie de actividades que conforman la logística interna, responsable de la sincronización de esfuerzos, tiempos, métodos y recursos que conlleven a la oferta de valor al cliente trasmitida a través de la oferta de un bien y/o servicio. Esta estructura ha de venir acompañada de un proceso de realimentación que permita la mejora continua en todo el sistema.

Un sistema de producción también puede ser clasificado según la continuidad en sus procesos, buscando reducir costos, tiempos y materiales en toda la estructura organizacional. A continuación, se presenta la clasificación más común esta modalidad:

- **Producción sobre pedido:** no se maneja stock de producto y la producción se efectúa cuando llega un cliente a la solicitud del producto.
- **Producción por lotes:** se establecen pronósticos de demanda y se trabaja sobre ellos para realizar la producción de cantidad limitadas de producto, sin necesidad que el cliente realice la orden previamente. Una vez se finaliza la producción de un lote, la empresa inicia de manera sistemática con la producción del siguiente lote.
- **Producción continua:** la producción en continua y lineal e ininterrumpida, desde la recepción de materia prima hasta la disposición del producto final.

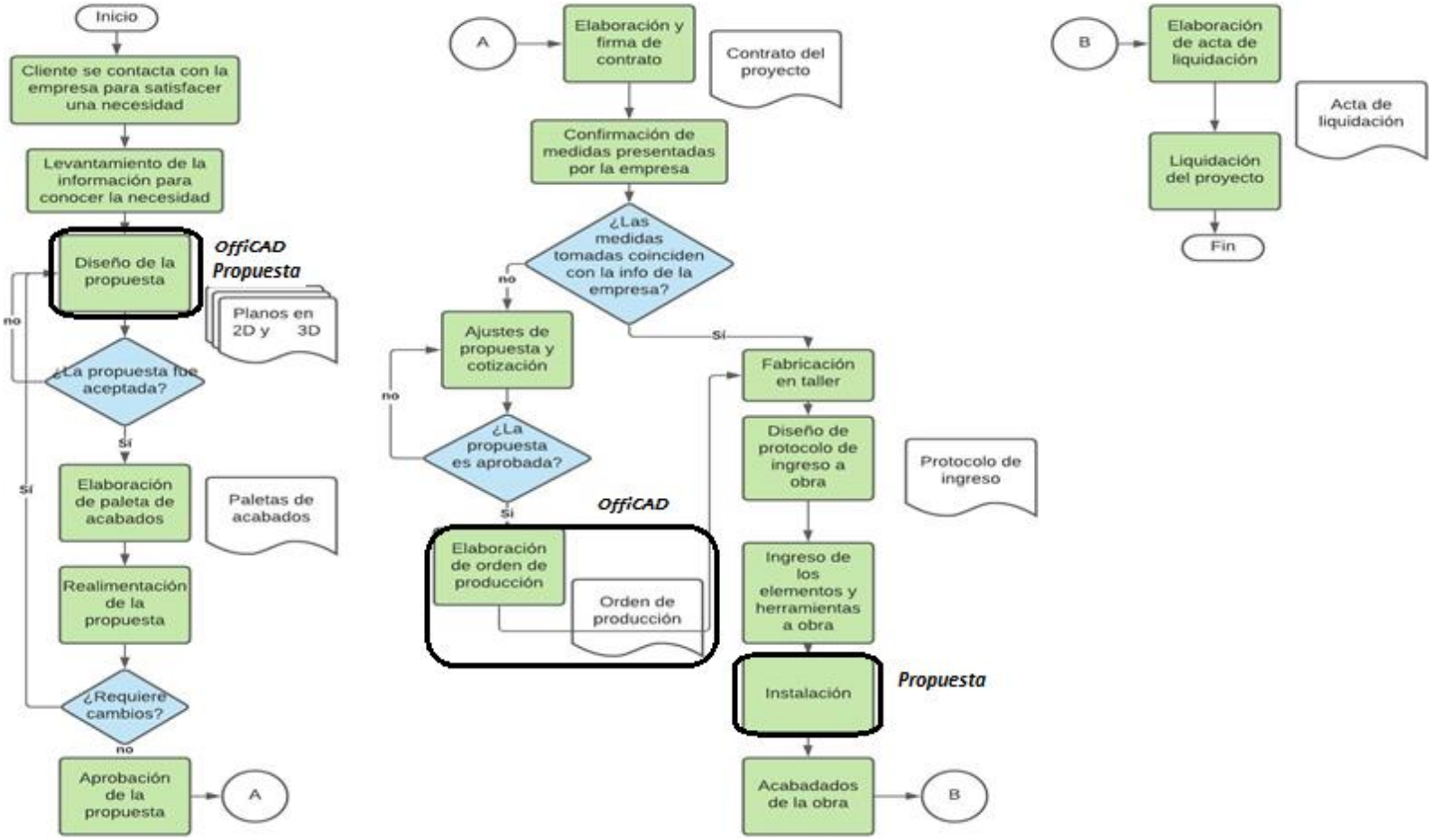
Para el caso práctico, el sector de muebles para oficina abierta cuenta con un tipo de producción por pedido, en donde el producto generado corresponde a los proyectos definidos por el cliente, para lo cual se requiere seguir un conjunto de pasos que les permite llevar a cabo, a grandes rasgos, con la satisfacción de los requerimientos. Para la determinación del diagrama de flujo genérico, aplicable a

los proyectos de oficina abierta, se contactó al Arquitecto Daniel Sebastián Verdugo Barón, quien brindó la información en un contexto amplio, del funcionamiento de la industria según su experiencia. Las actividades que se presentan en el flujograma [imagen], generan la satisfacción de las necesidades del cliente, permitiendo consolidar como producto final un proyecto acabado y entregado. Una orden de producción es un documento que contiene la información necesaria para ejecutar la producción, en donde se especifican los elementos, objetos, complementos y condiciones de la producción, así como las fechas para la entrega de la misma con el fin de poder satisfacer la demanda [68]. Dentro del diagrama de flujo, la actividad "*elaboración de la orden de producción"* representa el momento en que se consolidan los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto y las fechas estipuladas para la entrega y puesta en marcha de la instalación del mismo. La Figura 23 representa el flujo de información que se establece, en términos generales, entre el cliente, empresa y su área interna de producción.

El cliente expresa una necesidad que se espera, la organización satisfaga, mientras que, en su labor empresarial, la organización presenta una propuesta apoyada en los sistemas especializados en CAD ya mencionados, de forma tal que se especifiquen diseño, cotización y listado de elementos requeridos por el área de producción.

Figura 23*. Flujo de información entre el cliente-empresa y empresa-área de producción*

Fuente*: Elaboración propia*



***Gráfica 6**. Diagrama de flujo proceso elaboración proyecto de oficina abierta*

***Fuente**: Elaboración propia*

El software *OffiCAD*, dentro de las actividades especificadas en la *Gráfica 6. Diagrama de flujo proceso elaboración proyecto de oficina abierta*, permite el apoyo CAD en el diseño geométrico de la propuesta, asi como el diseño de la estructura de costos y de la orden de producción del proyecto, automatizando el proceso de gestión de información a partir de la integración en el diseño de las características técnicas y económicas de los objetos seleccionados para la conformación de la idea de amueblamiento modular. Por su parte, la propuesta presentada en este documento apoya en la confirmación dimensional del espacio en donde se ubicará el proyecto, asi como la integración de dicha información con el diseño inicial, mejorando las especificaciones arquitectónicas de la idea e impidiendo la materialización en etapa de producción del diseño sin confirmar. *OffiCAD,* junto con la propuesta materializada de este documento, permitirían la disminución de errores en la interacción del diseño y la aplicación del mismo, aportando proyectos eficientes en etapa de instalación y disminuyendo la estructura de costos afrontada por la PYME como consecuencia de corrección de aspectos no planificados en la puesta en marcha de las actividades propias del proyecto.

Una vez se tiene la aprobación del proyecto por parte del cliente, la empresa gestiona junto con el área de producción, la compra de materia prima, la necesidad de recurso humano, presupuesto de costos directos e indirectos de fabricación y demás recursos necesarios para llevar a cabo el proceso de manufacturación. El área de producción, en su gestión interna y con las demás áreas de la compañía, presenta la información de cumplimiento de la fabricación de los elementos necesarios para el proceso de instalación.

A continuación, se ponen a consideración un conjunto de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas que, a criterio del autor, presentan las ordenes de producción clásicas en la industria, particularmente, en las PYMES.

ANÁLISIS DOFA Orden de producción clásica	
DEBILIDADES	**OPORTUNIDADES**
1. Estática, impidiendo modificaciones en tiempo real.	**1.** Vinculación, en tiempo real, de las modificaciones presentadas durante las verificaciones e inspecciones de la propuesta de diseño.
2. Falta de conexiones dinámicas con las diferentes áreas de la organización.	**2.** Diseño dinámico que permita la conexión con las respectivas áreas de interés tales como inventario, negociación con proveedores, entre otras, buscando un sistema sistemico.
FORTALEZAS	**AMENAZAS**
1. Consolida la información necesario para el área de producción con el fin de manufacturar lo requerido por el proyecto.	**1.** Desarrollo de sistemas integrados con herramientas habilitadoras de la industria 4.0 para la gestión del ciclo de vida de un proyecto para oficina abierta.
2. Nivel de especificación de los elementos requeridos alta.	**2.** Automatización de los procesos organizacionales

***Tabla 8**. Matriz DOFA orden de producción*

***Fuente:** Elaboración propia*

En términos generales, las PYMES no presentan un proceso de automatización al momento de la elaboración de la cotización, por lo que ésta puede presentar brechas entre lo que se requiere realmente en el proyecto y lo que especificó en primera instancia, generando pérdidas de tiempo al momento de la instalación, costos de procesos logísticos, costos en preparación de la línea de producción o en la adquisición de pequeños lotes de materiales a proveedores, costos en la mano de obra requerida, entre otros; *OffiCAD* presenta solución a estos inconvenientes de interacción eficiente entre la información en etapa de diseño del proyecto de amueblamiento modular, respuesta a bajo costo y de fácil gestión por parte de las organizaciones.

6 Instalación de muebles modulares

El diagrama de flujo presentado en la Gráfica 5, especifica, en términos generales, el proceso que se lleva a cabo una vez el cliente con una necesidad entra en interacción con la empresa ofertante de muebles para oficina abierta, desde el contacto cliente-empresa con una necesidad latente y en busca de su satisfacción, hasta la liquidación del proyecto que tiene como objetivo el cumplimiento de los requerimientos y la satisfacción del cliente. En lo que concierne a la instalación, se delimitará del diagrama de flujo, desde la confirmación de las medidas presentadas por la empresa hasta el acabado de la obra.

Para el proceso de instalación,[69] plantea una serie de etapas sistemáticas que permiten el cumplimiento de los requerimientos empresariales y del cliente, guiados por el cumplimiento de las condiciones de trabajo seguras y de la buena relación con el medio ambiente. El proceso de instalación se puede especificar como sigue.

6.1 Preparación de materiales y herramientas

En esta etapa se hace una selección de todos los equipos, materiales y complementos necesarios para la instalación y consolidación del proyecto en el lugar solicitado por el cliente. Esta selección se realiza atendiendo los criterios técnicos a que den lugar y los criterios requeridos por el cliente que son necesarios para el proyecto. Una vez se realiza la selección, se realiza el acopio de los elementos en consideración para ser transportados hasta el lugar donde se desarrollará el proyecto. La Figura 24 presenta la producción en planta de estructuras utilizadas para amueblamiento de oficina, como ejemplo práctico en etapa de manufactura.

***Figura 24**. Elaboración en fábrica de algunos elementos para un proyecto de mobiliario para oficina*

***Fuente:** Arquitecto Daniel Sebastián Verdugo*

6.2 Transporte de elementos

En esta etapa, se hace una selección de los medios que se utilizarán para el transporte de los equipos, materiales y complementos necesarios desde el centro de distribución de la empresa hasta el lugar de instalación definidos por el cliente. También se define en esta etapa los medios de manipulación necesarios, teniendo en cuenta el orden de descargue y la nivelación de pesos.

Elementos como la forma de fijación de los elementos, el cumplimiento del horario de estrega establecidos, el cumplimiento de las normativas de seguridad laboral y el descargue de los elementos en el lugar predefinido en el diseño, serán necesarios planificarlos con el fin de satisfacer las necesidades del cliente y el cumplimiento de las condiciones legales establecidas en el contrato.

6.3 Replanteo de la instalación de los elementos

En esta etapa del proceso de instalación, se comprueban nuevamente las especificaciones del proyecto tales como medidas, ubicación y elementos que se planificaron durante la etapa de diseño. Si se requieren modificaciones, se debe validar con el encargado del proyecto por parte del cliente y, una vez se apruebe la modificación, se deberá reajustar y complementar los elementos necesarios para el desarrollo adecuado de la instalación. Una vez se tiene replanteado el proyecto y aprobadas

las variaciones a que dieran lugar, se procede a la ubicación de los elementos al lugar predefinido en la etapa de diseño.

6.4 Ubicación del mobiliario en el lugar previsto

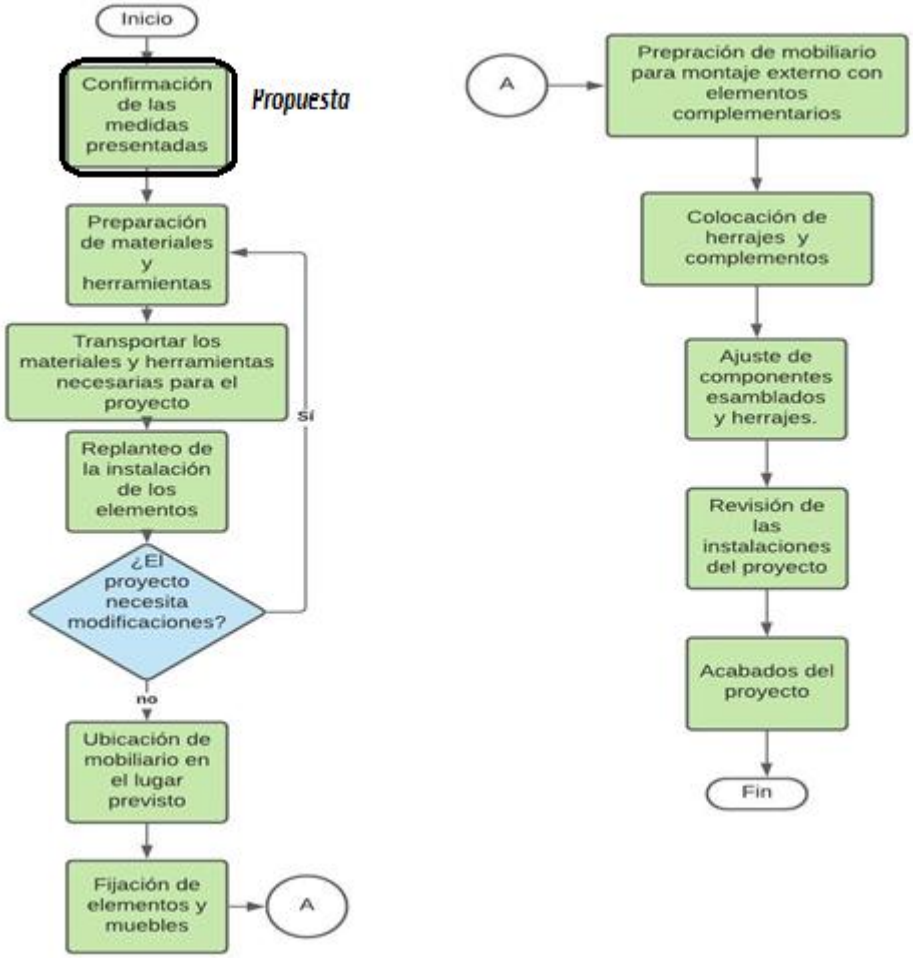
La protección y embalajes a que diera lugar para un adecuado traslado de los elementos al lugar en donde se desarrolla el proyecto, se retiran, verificando el estado de los mismos y corrigiendo las posibles incidencias presentadas durante la logística. Posteriormente, se ubican los elementos del proyecto en los lugares definidos, sin impedir el flujo adecuado de las actividades posteriores. Las conexiones complementarias (electricidad, agua, aireación, telefonía, entre otros) se realizan en esta etapa del proyecto con el fin de evitar inconvenientes posteriores a la hora del ajuste y la fijación de los elementos.

6.5 Fijación de muebles y elementos

Para la fijación de elementos, previamente se establecieron el soporte base a los que estarán sujetos (placas, cartón yeso, hormigón, entre otros), con el fin de definir el sistema de fijación según corresponda. Resistencia a la carga, movilidad y deformaciones en los elementos estructurales del proyecto se tuvieron en cuenta para su diseño y en esta etapa, se validan con el fin de evitar inconvenientes en etapa de funcionamiento. Se resalta el uso de los elementos de protección personal.

6.6 Preparación final del mobiliario

Se montan los herrajes y complementarios al proyecto según especificaciones técnicas y buscando una fijación final del proyecto en el lugar planificado. Una vez finalizada esta actividad, se tiene el proyecto fijado en el lugar de trabajo, esperando a la revisión del funcionamiento según corresponda. Se prueban todos los elementos que hacen parte del proyecto con el fin de validar su fijación y generar algún tipo de ajuste a las condiciones en las que se encuentra actualmente. Una vez se tiene una aprobación final de los elementos y su funcionamiento, se realizan los retoques finales que permitan conseguir el ajuste deseado, al igual que los acabados solicitados por el cliente, entregando un proyecto listo para su uso.



***Gráfica 7**. Diagrama de flujo proceso instalación*

***Fuente**: Elaboración propia*

Dentro del proceso de instalación (Gráfica 7), la etapa de confirmación de medidas es la primera instancia para llevar a cabo con éxito la materialización de la instalación, perfilándose como una actividad crucial. La propuesta presentada en este documento permite establecer un marco de trabajo que facilita la gestión integral entre la confirmación espacial y las correcciones en diseño de proyecto. Una confirmación eficiente de la idea en el espacio físico permite un mayor nivel de productividad organizacional al disminuir errores y gestionar el proyecto de forma sistémica.

En esta etapa del proyecto de muebles para oficina abierta, se requiere de herramientas, materiales, personal humano, información técnica, diseño acabado, elementos de fijación, herrajes, detectores de instalaciones eléctricas, cintas métricas y demás objetos tangibles o intangibles que sean necesarios para estructurar de manera funcional las partes que vienen por separada del área de producción en el lugar solicitado por el cliente. Así pues, se tiene como resultado la ubicación del proyecto en el lugar definido por el cliente, los elementos a que requieran de fijación, fijados y la estructura misma a disposición del cliente para su uso.

***Figura 25**. Proceso de instalación*

***Fuente**: Elaboración propia*

El proceso de instalación de amueblamiento modular (Figura 25) es un subproceso organizacional que permite consolidar un proyecto demandado por el cliente en un espacio físico, previo diseño del mismo, y materializa la idea de la empresa a partir de una necesidad. Las principales entradas del proceso corresponden a las herramientas, materiales, diseño recurso humano, elementos de anclaje y elementos de medición que permiten, no solo la instalación como actividad, sino verificación del proyecto como servicio complementario y que ayudan a brindar un mayor nivel de confianza. Algunas

consideraciones, en términos generales, referentes a los aspectos DOFA del proceso de instalación se especifican en la matriz "*Análisis DOFA instalación de proyectos modulares*".

Una de las principales cualidades que se presentan en el proceso de instalación de proyectos modulares tal como se especificó en esta sección, corresponde a la capacidad de inspección que se puede presentar, con el fin de establecer criterios de aceptación o rechazo de un aspecto particular del proyecto y, de forma paralela, realizar las correcciones respectivas de estética, forma y funcionalidad para cumplir con el proyecto que satisface las necesidades del cliente. Por otra parte, el proceso detallado presenta inconvenientes a la hora de gestionar las respectivas modificaciones de especificaciones una vez se pretende contrastar el diseño del proyecto con las condiciones reales de dimensionamiento, por ejemplo; las PYMES presentan sobrecostos asociados a las variaciones de las especificaciones y sus respectivas correcciones con las cuales se realizó todo el proceso de cotización y orden de producción, por lo que se requiere un marco ágil de trabajo que permita disminuir el impacto que tiene la no contemplación del dimensionamiento exacto y preciso por parte del cliente y la corroboración detallada y precisa por parte de la empresa.

Un primer acercamiento radica en la mejora de los procesos que preceden al proceso de instalación, buscando una mejor planificación de las actividades y ejecución de las mismas, sin embargo, sigue la condición de riesgo por descuido humano, por lo que se busca un marco de trabajo que mitigue los grandes impactos en esta etapa de instalación en el costo total del proyecto a partir del uso de alguna herramienta habilitadora de la industria 4.0 como apoyo en este proceso de mejora.

ANÁLISIS DOFA Instalación de proyectos modulares	
DEBILIDADES	**OPORTUNIDADES**
1. Sobrecostos en el proyecto si se presenta una variación entre lo planeado y lo que se está instalando a causa de los esfuerzos extras en modificación de planos y diseño en general.	**1**. Sistema interactivo en tiempo real para la modificación de las especificaciones técnicas del proyecto entre el proceso en ejecución y el diseño.
2. Ineficiencia operativa en condiciones de modificación de las especificaciones del proyecto: tiempo, recurso humano, preparación de linea de producción, entre otros.	**2.** Actualización de las ordenes de producción y cotización del cliente en tiempo real una vez se hace la verificación de las especificaciones técnicas del espacio.
FORTALEZAS	**AMENAZAS**
1. Inspección detallada de las condiciones físicas, estéticas y funcionales del proyecto.	**1.** Automatización en el proceso debido al avance tecnológico.
2. Términación del proceso con la verificación a cliente de la calidad del producto instalado.	**2.** Cambio en las preferencias de los clientes, demandando una reestructuración del proceso.
3. Acondicionamiento de los herrajes y demás elementos de anclaje al material base en las diferentes partes del proyecto, permitiendo un adecuado uso de las herramientas y los elementos transportados al lugar de trabajo.	

***Tabla 9**. Matriz DOFA proceso de instalación*

***Fuente:** Elaboración propia*

7 Propuesta de un marco de trabajo enfocado al proceso de instalación para empresas ofertantes de proyectos de amueblamiento modular

Durante el desarrollo del presente trabajo, se han planteado una serie de conceptos y estructuras de funcionamiento referentes a algunas herramientas habilitadoras de la Industria 4.0 como lo son Gemelos Digitales e Internet de las Cosas, a su vez que se han desarrollado una contextualización general acerca del Modelado de la Información de Construcción BIM como una metodología integradora de los diversos aspectos referentes al diseño y puesta en marcha de proyectos en general. En este apartado se pretende proponer un marco de trabajo que vincule estas herramientas y que permitan mejorar la eficiencia del proceso de instalación de muebles para oficina abierta en las PYMES que hacen parte de esta actividad económica. Dadas las dificultades para el acercamiento a empresas del sector, solamente se propone la forma en que se podrían vincular los diferentes elementos, la información que se podría dinamizar en la red propuesta y los actores que harían parte de la misma. Se espera, para futuras investigaciones, el desarrollo técnico del marco de trabajo propuesto, su verificación y validación y su puesta en contexto empresarial para el beneficio organizacional de las PYMES del sector.

El marco de trabajo propuesto se compone de tres conjuntos dinamizados entre sí a partir de las interacciones de la información: *modelo virtual*, *modelo físico* e *información en la nube*. La red se encuentra diseñada con el fin de permitir la facilidad de gestión de la información en etapa de

instalación del proyecto y la interacción de esta con la etapa de diseño, a fin de generar modificaciones a que haya lugar en tiempo de verificación en el lugar donde será instalado el proyecto y generar la actualización pertinente.

7.1 Diseño axiomático

El diseño axiomático define una estrategia para el diseño de una propuesta como consecuencia de la relación entre requerimientos funcionales y parámetros de diseño (requerimientos funcionales dentro del dominio funcional y parámetros de diseño dentro del dominio físico) [70]. Para la presente propuesta, se establecen los requerimientos funcionales (RF) y los parámetros de diseño (PD) por niveles [71], siendo el nivel superior (nivel cero) como sigue:

RF_0: Mejorar la efectividad de la gestión de diseño e implementación de muebles modulares lideradas por PYMES bogotanas.
PD_0: Diseñar una metodología basada en habilitadoras de la industria 4.0 para la etapa de instalación de muebles modulares gestionada por PYMES bogotanas.

La descomposición del par RF/PD del nivel superior se da como sigue:
RF_1: Mejorar la interacción existente entre la etapa de diseño y la etapa de implementación de los proyectos de amueblamiento modular.
PD_1: Uso de modelado de información de proyectos de amueblamiento modular.
RF_2: Hacer que la etapa de instalación se dinamice con el uso de tecnología.
PD_2: Uso de tecnologías de la industria 4.0

La descomposición del nivel anterior se da como sigue para requerimiento de interacción de información (par RF_1 y PD_1):
$RF_{1.1}$: Integrar los diferentes elementos del proyecto en una base de información común.
$PD_{1.1}$: Uso de BIM para la integración de la información.
$RF_{1.2}$: Agilizar la gestión de la información de las diferentes etapas del proyecto de amueblamiento modular.
$PD_{1.2}$: Uso de herramientas facilitadoras de metodología BIM (*OffiCAD, AutoCAD, Revit, entre otras)*.

La descomposición del primer nivel se da como sigue para dinamización de las diferentes etapas de un proyecto de amueblamiento modular (par RF_2 y PD_2):

$RF_{2.1}$: Crear datos de instalación.

$PD_{2.1}$: Uso de aplicación con fundamentos en realidad aumentada, fotogrametría, sensores.

$RF_{2.2}$: Interacción de etapa de instalación con etapa de diseño.

$PD_{2.2}$: Uso de información en formato dxf y dwg para comparación y validación con etapa de diseño.

$RF_{2.3}$: Visión sistémica del proyecto.

$PD_{2.3}$: Concepción de etapa de diseño como modelo virtual y etapa de instalación como modelo físico desde la perspectiva de un gemelo digital, haciendo uso de información en la nube como conector.

$RF_{2.4}$: Análisis de la información recopilada en etapa de instalación vs etapa de diseño.

$PD_{2.4}$: Uso de herramientas de análisis geométrico vinculado en AutoCAD 360 como mecanismo de comparación.

Los requerimientos funcionales y parámetros de diseño propuestos, se definen como sigue: la falta de interacción entre la etapa virtual del esquema propuesto (etapa de diseño apoyado por sistemas CAD especializados como *OffiCAD, por ejemplo*) y la etapa física (instalación del proyecto) radica en la falta de una herramienta que permita el flujo de información bidireccional en tiempo real, gestionando cualquier cambio del diseño como consecuencia de la ratificación espacial del lugar donde se instalará el amueblamiento modular. Una interacción activa y en tiempo real entre el mundo virtual y el mundo físico (diseño e implementación respectivamente), permitirá mejorar la información proporcionada por el sistema CAD a las diferentes partes interesadas (informes de cotización para el cliente y ordenes de producción para área de producción de la empresa PYME) que se traducirá en efectividad organizacional al gestionar adecuadamente recursos empresariales (tiempo, dinero, apoyo humano, recursos logísticos, entre otros). La figura 26 establece la relación entre las herramientas habilitadoras de la industria 4.0 que permiten dar cumplimiento a los parámetros de diseño como consecuencia de los requerimientos funcionales.

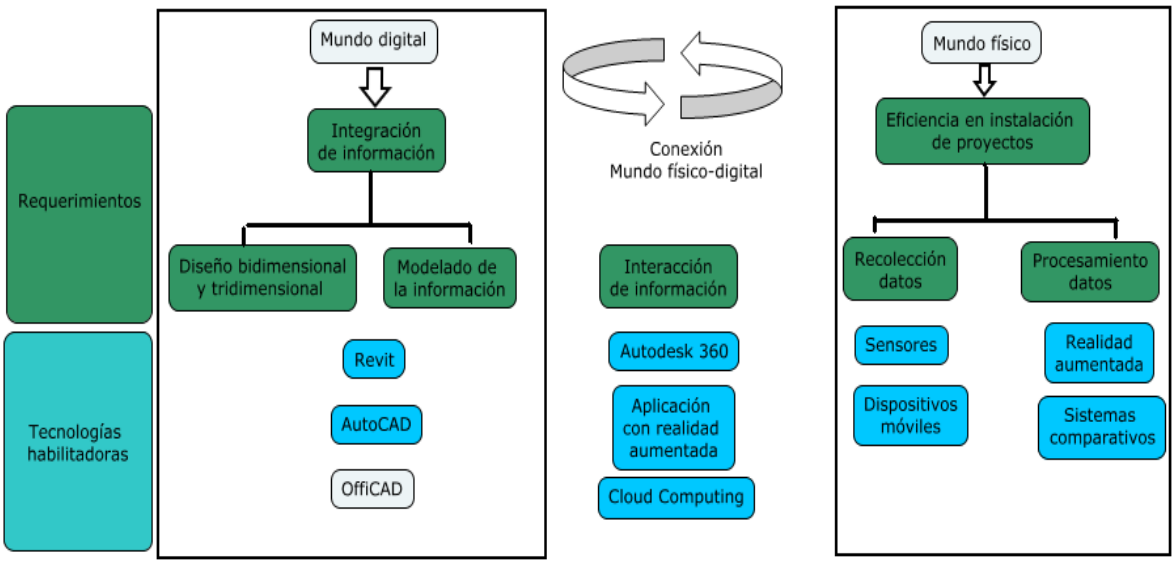


***Figura 26**. Vinculo entre requerimientos y tecnología*

***Fuente:** Elaboración propia*

Los elementos mencionados en la figura 26 tales como el mundo digital o modelo virtual, el mundo físico o modelo físico y la interacción entre ellos para el cumplimiento de los requerimientos funcionales, se muestra a continuación.

7.2 Modelo virtual

El modelo virtual tiene su fundamento en la herramienta *OffiCAD*, la cual se encuentra vinculada a un software CAD, generalmente AutoCAD (aunque sin dejar de lado la compatibilidad con sistemas CAD de bajo costo presentados en el apartado referente al tema). *OffiCAD* permite el desarrollo bidimensional de planos y la visualización tridimensional del proyecto, consolidando en una base de datos del sistema, información referente a las especificaciones técnicas, costos y referenciación de los elementos adicionados en la etapa de diseño del proyecto, que servirán para la elaboración de una orden de producción y un informe de cotización como consecuencia de la consolidación integral de la información.

El diseño del proyecto se realiza según las especificaciones mínimas de diseño estipuladas en el Capítulo 2 de este trabajo, siguiendo requerimientos internacionales de diseño y a su vez, cumpliendo con los requerimientos del cliente y las necesidades de funcionalidad y estética de la propuesta. Su

desarrollo se encuentra sustentado en un software especializado en el Diseño Asistido por Computadora, que facilita la adición, modificación y gestión en general de los elementos necesarios; *OffiCAD*, por su parte, se perfila como una herramienta que conecta los elementos de diseño y las especificaciones técnicas con la información generada por proveedores y demás involucrados, creando arreglos de información que permiten generar lo correspondiente a una orden de producción (donde se especifican las consideraciones técnicas a que dieran lugar para que el área de producción se encargue de realizar la planeación correspondiente para el cumplimiento de la entrega de los materiales y accesorios) y a un informe de cotización (en donde el cliente tiene la posibilidad de visualizar los costos asociados por cada elementos requerido para el proyecto, así como el costo total de la propuesta). Adicional, se tiene un conjunto de información referente a los planos del proyecto, necesarios para el desarrollo del proyecto en el lugar de instalación.

Toda esta información, ordenada y consolidada en bases de datos, generada en AutoCAD (para el desarrollo práctico de propuesta, sin dejar de lado el conocimiento de otras herramientas CAD), puede ser leída por la versión en línea del software, a lo que se especificará en el apartado *Información en Nube*. Este trabajo de vinculación de información y desarrollo del proyecto con ayuda de *OffiCAD* se puede visualizar con mayor detalle en [7], y en especial, dentro del grupo de investigación DIMSI (Diseño, Modelamiento y Simulación) de la Facultad de Ingeniería, proyecto curricular en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

7.3 Modelo físico

El modelo físico propuesto en este caso, diverge un poco en relación a los conceptos que se encuentran en la literatura sobre gemelo físico, pues no se concibe como el proyecto terminado, sino que hace referencia al espacio designado para la materialización del proyecto. En este sentido, la interacción con el gemelo digital radica en las modificaciones de las dimensiones espaciales a las que haya lugar.

Al momento de la instalación de amueblamiento modular en oficinas, se presentan inconvenientes relacionados a las especificaciones técnicas del espacio en donde se ubicará el proyecto frente al dimensionamiento tenido en cuenta en etapa de diseño, esto conlleva a la necesidad de reajustar los elementos que se pretenden instalar con el fin de cumplir con las condiciones espaciales encontradas en el lugar de trabajo. Estos ajustes dimensionales se traducen en costos de reajustes en las

condiciones técnicas de los productos, costos en recursos humanos, costos logísticos, entre otros. Es necesario, por todo lo anterior, establecer la forma en que se puedan realizar comparaciones entre lo diseñado y especificado como modelo digital y el espacio real existente en el contexto del modelo físico.

7.3.1 Fotogrametría

La técnica de la fotogrametría permite obtener una réplica digital a partir de la toma de una serie de fotografías tomadas desde diversos puntos de vista con un recubrimiento común [72]. La fotogrametría trabajo bajo el sustento de que una foto permite conocer información bidimensional del objeto en cuestión, mientras que dos fotos o más permiten una obtención de información tridimensional gracias a las zonas de solapamiento entre dichas fotos. Se puede clasificar a la fotogrametría en dos grupos principales:

- **Fotogrametría terrestre:** Las fotos que se toman para el análisis, se capturan sobre un soporte terrestre. Dada esta condición, orientación externa de la cámara y su posición, son conocidas.

Fotogrametría aérea: Las fotos son tomadas gracias a una cámara aerotransportada. El eje óptico de la cámara es vertical y la ubicación en el espacio no está determinado. Existen elementos necesarios a tener en cuenta referentes a la toma de fotografías bajo la fotogrametría terrestre que es el caso que prevalece en nuestro caso de estudio: escalas y precisiones, tamaños del pixel, posición de la toma fotográfica y solape horizontal [73]:

a. **Escalas y precisiones:** se proponen tres niveles de documentación gráfica, según el tipo de levantamiento que se quiera realizar: nivel de reconocimiento [fotografías, croquis o esquemas sin escala precisa pero bien proporcionada [citar]], documentación preliminar [planos con errores no mayores a 10 cm a escala 1:200 y entre 3 y 5 cm a escala 1:100 y 1:50] y documentación de detalle [escala mínima de 1:100 con errores menores a 3-5 cm].
b. **Tamaño del pixel:** el tamaño de pixel define la resolución de una fotografía; mientras éste sea pequeño, la resolución será mayor y viceversa. El tamaño de un pixel se mide en micrones [1 micrón = una millonésima parte de un metro].

c. **Posición de la toma fotográfica:** para la determinar la posición a la cual se debe tomar una fotografía para obtener una resolución deseada, deberá seguir la siguiente expresión matemática que expresa la relación entre las variables de la figura 35:

$$\frac{f}{w} = \frac{H}{W}$$

***Ecuación 1**. Anchura del sensor de la cámara y anchura del objeto a fotografiar*

***Fuente**.* [73]

En donde:

f: distancia focal de una cámara fotográfica.

w: anchura del sensor de la cámara fotográfica.

H: distancia desde el objeto al objeto fotografiado.

W: ancho real que se desea fotografiar.

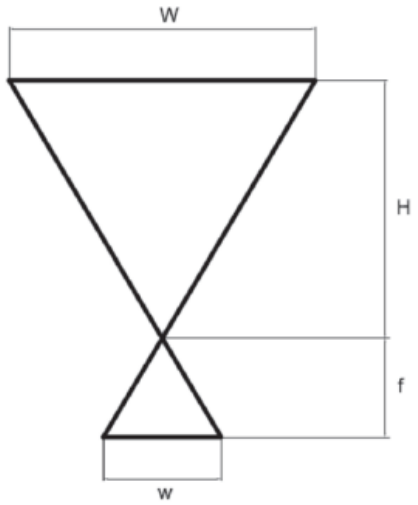


***Figura 27**. Relación entre las diferentes variables en fotogrametría*

***Fuente**:* [73]

d. **Solape horizontal**: se deberá aumentar el solape entre imágenes hasta en un 80% como mínimo debido a la necesidad que se tiene del uso de programas basados en SFM [Structure from Motion] necesario para el cual determina de forma automática, los parámetros de

orientación interna de la cámara, lo que hace innecesaria una metodología expresa de calibración [72].

Estos aspectos mencionados, deberán ser especificados previo al inicio del trabajo de fotogrametría terrestre para un adecuado uso de la metodología, sin embargo, gracias a los avances de los ordenadores, surge la fotogrametría digital que nos ofrece grandes posibilidades en este aspecto ya que nos proporciona gran calidad métrica y visual a bajo coste [72].

Para la restitución de objetos geométricos como edificios, una buena herramienta consiste en el método de intersección directa [74], en donde, al marcar un mismo punto en dos fotografías, las rectas que se forman entre el objeto de la cámara y el objeto real se cruzan en un solo punto que es el punto real del objeto, permitiendo calcular coordenadas reales de ese punto (X, Y, Z) a través de coordenadas fotográficas de los puntos de las fotografías (xf, yf).

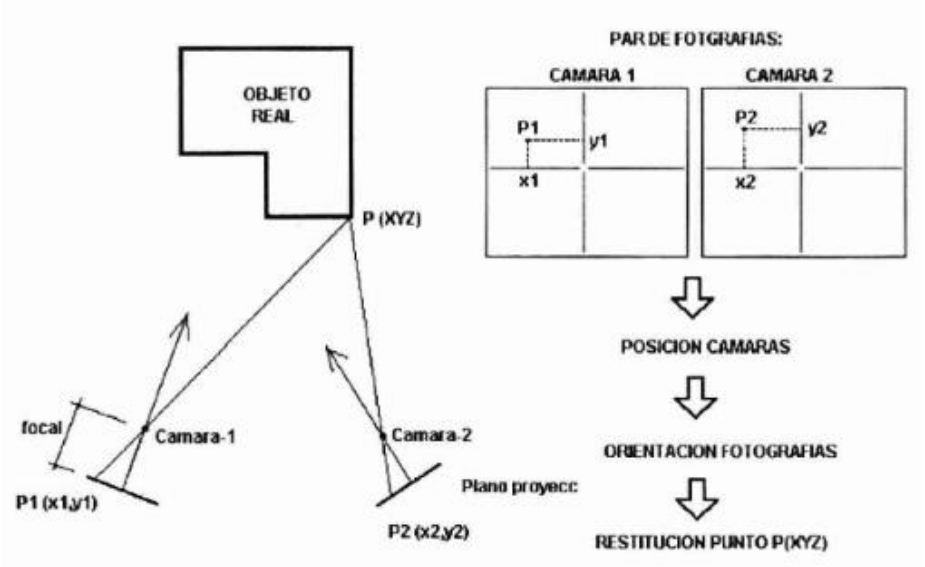


***Figura 28**. Método de intersección directa en fotogrametría*

***Fuente**:* [74]

Esta noción de intersección directa son la razón subyacente de software como 123D Catch o Magic Plan, encargados de realizar un levantamiento de planos con dispositivos móviles como herramienta de captación de datos y con ayuda de computadores personales como herramientas de tratamiento de la información recolectada. La adquisición de la información característica del modelo físico propia

del espacio donde se pretende instalar el proyecto en cuestión, se hará sustentada a los conceptos anteriormente mencionados y a los elementos mínimos necesarios para la implementación de la realidad aumentada como herramienta habilitadora de la industria 4.0 para la interacción entre el mundo digital y el mundo real. Los detalles de estas generalidades se presentarán posteriormente.

123D Catch

La orientación se realiza en la nube, es decir, en el servidor propio del programa por lo que el tiempo de obtención del modelo tridimensional está íntimamente relacionado con el volumen de datos y la velocidad de la conexión a internet, y no tanto con la complejidad del objeto de estudio [72]. 123Dcatch ajusta la posición de cada punto en todas las fotografías en las que sea visible y reajusta todo ese conjunto continuamente (y con el resto de fotos) hasta que consigue una solución de error mínimo. Además, para definir las nubes de puntos de la superficie del elemento, compara múltiples fotos con estereoscopía (fotografías que recogen una misma parte del elemento, por pequeña que sea).

Magic Plan

Software gratuito que permite medir y dibujar una planta interactiva solamente haciendo fotografías. Es un aplicativo que permite el uso de la cámara fotográfica de un dispositivo móvil para diseñar, a partir de la interacción y captación de imágenes, una visualización en planos, del lugar que se requiere medir. Una vez se tienen los planos del espacio en donde se instalará el proceso, se puede exportar el diseño capturado en formato pdf, png, dxf o csv.

Formatos dxf y dwg

DXF y DWG son dos formatos de archivo comunes usados para intercambiar información entre diferentes programas CAD y de dibujo. Los formatos dxf y dwg almacenan todos los mismos objetos, por lo que, con ayuda de AutoCAD, es posible una gestión de éstos tipos de formatos. DXF significa “drawing Exchange format” y es un formato nativo de AutoCAD; DXF es un archivo de formato vectorial, el cual permite el soporte de objetos dimensionales, curvas y textos (es un formato con mayor uso en software CAD). Por su parte, DWG representa “Drawing Databas Files”; actúan como bases

de datos para dibujos de dos y tres dimensiones principalmente en AutoCAD que contienen, entre otras cosas, información de diseño.

Softwares mencionados anteriormente, permiten generar documentos .dxf a partir de la aplicación práctica de la fotogrametría; estos formatos pueden ser leídos por software CAD, particularmente, AutoCAD, capaz de convertir documentación .dxf en formato .dwg para una visualización de diseño adecuado y, en consecuencia, un levantamiento de plano en tiempo de ejecución de los softwares mencionados. En esta etapa de la propuesta (modelo físico), se presenta una alternativa de levantamiento de información en tiempo real, capaz de generar modelos geométricos del espacio de instalación en tiempo de ejecución, con ayuda de herramientas computacionales como los softwares mencionados (entre otros a nivel industrial), que se encuentran asequible a todo público gracias a su bajo coste capaz de ser pagado por las PYMES del sector de amueblamiento modular.

7.4 Entorno digital sustentado en realidad aumentada

Anteriormente, se ha especificado el marco teórico básico a que da lugar el levantamiento de planos con ayuda de la tecnología a partir de la fotogrametría, por lo que dicha información se complementa con el entorno propuesto por la realidad aumentada, capaz de conectar el mundo real con el mundo digital a partir de una serie de conceptos que se detallan con mayor nivel en [75]. La realidad aumenta conlleva para su desarrollo, básicamente, cuatro momentos: captación de la escena que se quiere aumentar, identificación de dicha escena, mezclado de realidad y aumento, y finalmente, visualización.

Captación de escena

Gracias al avance tecnológico, la captación de la escena se hace con ayuda de dispositivos video-through, fáciles de encontrar en dispositivos móviles con software y hardware capacitado para tal fin, tabletas y ordenadores personales, con los cuales se realiza la adquisición del entorno real que se quiere aumentar.

Identificación de escena

Durante la identificación de la escena, se pretende darle a conocer al software, lo que por medio del dispositivo video-through se capturó. En esta etapa se pueden distinguir dos maneras para la identificación: con reconocimiento de marcadores o sin marcadores. Los marcadores son elementos conocidos por el software y que sirven de referencia para identificar lo captado en la etapa anterior; para su reconocimiento, se hace uso de sus características morfológicas, generalmente.
Las etapas básicas por las que debe pasar la escena captada responden a la adquisición de la imagen, procesamiento de la imagen para la eliminación de ruido que impida el trabajo posterior, una segmentación de la escena en donde se permita buscar información característica, la búsqueda de las características morfológicas como geometría e incluso color, y finalmente, el reconocimiento de la escena con ayuda de procesamiento de información en redes neuronales, lógica difusa o cualquier otra técnica o herramienta que permita tal fin.

Mezclado de realidad y aumento

Una vez se tiene la escena reconocida, identificada, y morfológicamente caracterizada, se procede al mezclado de la realidad y el aumento con ayuda de librerías ya consolidadas como ARToolKit (desarrollada en lenguaje C++) o JARToolKit (desarrollada en lenguaje Java). Cabe resaltar que estas librerías mencionadas son aplicables a sistemas con marcadores, por lo que usa información bidimensional en escala RGB (rojo, verde, negro) para el reconocimiento y proyección de la información. Al estar consolidadas como librerías de aumento las mencionadas anteriormente, solo se nombran para que el lector tenga conocimiento de su existencia y pueda detallarlas con mayor nivel al momento de su uso.

Visualización

Gracias a la facilidad con la que se cuenta actualmente para la adquisición de un dispositivo móvil, la visualización de la escena aumentada se puede hacer de forma inmediata y proporcionada por el dispositivo con el que se realizó la captación de escena.

Aunque lo expuesto acá solamente da a conocer las etapas para el aumento de una escena, los detalles de la aplicación práctica de la realidad aumentada se pueden estudiar en [75]. Lo acá propuesta se sustenta en la noción de proporcionar herramientas conceptuales para futuros desarrollos de la realidad aumentada aplicada a la industria de amueblamiento modular en etapa de

instalación, particularmente, para PYMES nacionales. Con los elementos expuestos en este apartado y vinculados a la etapa de diseño presentada en el apartado anterior, la vinculación digital y física para el amueblamiento modular permitirá gestionar información y recursos en tiempo real para aumentar la efectividad y productividad organizacional como requerimiento mínimo de sustentabilidad empresarial en el mercado.

7.5 Información en nube

Una vez se tiene disponible la base de datos del modelo físico y del modelo digital para su respectiva comparación y se ha realizado la misma, se ejecutan las respectivas modificaciones en el servidor web con cuenta Autodesk, que permitirá generar un nuevo archivo legible en AutoCAD asociado a *OffiCAD* y se realizarán las respectivas modificaciones en tiempo de ejecución de la orden de producción y la cotización dirigida a cliente.

La actualización de la documentación ofertada al área de producción y de la cotización presentada al cliente, en tiempo real y desde el lugar físico donde se realizará la instalación permite, entre otras cosas:

- Agilidad en el cierre de brechas informativos entre las especificaciones técnicas del modelo digital y las dimensiones espaciales del lugar donde quedará el proyecto.
- Mejora en la estructura de costos al reducir el riesgo de información no verificada técnicamente, impidiendo producción de módulos y/o elementos que no se acomodan al espacio físico o que no cuentan con las especificaciones técnicas para el acoplamiento con sistemas adicionales como gas, agua, electricidad, entre otros.
- Mejora en la rentabilidad del proceso, al disminuir los recursos utilizados para su planeación y ejecución.
- Primer acercamiento a la automatización de procesos con esta disponibilidad de mejora, permitiendo mejoras sistémicas en las PYMES.

La actualización de la información en la etapa de instalación del proyecto, es un complemento de la gestión que busca aumentar la tecnificación de los procesos organizacionales de las PYMES del sector de muebles para oficina abierta y, junto con la herramienta *OffiCAD* como apoyo para la gestión

sistémica de las actividades organizacionales, permiten un mayor rendimiento operativo, a la vez que mejora la productividad de este tipo de empresas que cuentan con un músculo financiero bajo y un nivel de tecnología igual. AutoCAD presenta una herramienta que permite la comparación entre dos dibujos, posibilitando la visualización de elementos en común y elementos que aparecen en un dibujo, pero no en otro. Entre las principales ventajas que se obtienen a la hora de una actualización en tiempo real de las especificaciones espaciales de un proyecto, se tienen: mejora en el manejo de personal (pues se utiliza el recurso humano necesario para llevar a cabo la instalación, sin exceder el uso de este o sin caer en faltantes), gestión de almacen (mejorando el uso de los elementos que hacen parte del proyecto y haciendo uso únicamente de los absolutamente necesarios), mejora en los procesos logísticos (se hace uso de una estructura de envío y recepción mejor gestionada en comparación con un proceso de instalación sin actualización en tiempo real) y centralización de la información (al ser punto de contacto entre el modelo virtual y el modelo real la información en nube que permite el acceso a la información por parte de los interesados dentro del proyecto de amueblamiento modular).

Con el diseño elaborado en AutoCAD a partir del uso de *OffiCAD* como modelo virtual del gemelo digital, y el diseño capatado a partir del uso de herramientas sustentadas en la fotogrametría como 123D Catch y Magic Plan, por ejemplo, en el sistema AutoCAD 360 (aplicación web de AutoCAD) se puede realizar una comparación de los diseños que, en teoría, al ser sustentados por el mismo objeto físico, deben contener un porcentaje alto de similitud. Esta comparación se puede realizar solamente con archivos .dwg, por lo que, formatos .dxf deberán ser transformados inicialmente a .dwg para su posterior uso. AutoCAD presenta la herramienta *Comparar DWG,* capaz de superponer dos dibujos .dwg (en nuestro caso, el diseño elaborado en *OffiCAD* y el plano levantado gracias a principios de fotogrametría) y determinar, a partir de una serie de colores, elementos similares, elementos que no aparecen en el objeto 1 y aparecen en el objeto 2 y, finalmente, elementos que no aparecen en el objeto 2 y aparecen en el objeto 1 (para nuestro caso, el objeto 1 puede ser el diseño inicial y el objeto 2 el plano levantado en etapa de instalación o viceversa). El diseñador, en tiempo real, será capaz de identificar las diferencias en los diseños y corregir el diseño inicial (elaborado con ayuda de *OffiCAD*), actualizando la base de datos de los elementos utilizados en la concepción del proyecto y, en paralelo, actualizando la orden de producción (como documento interno de gestión de los elementos del proyecto) y la cotización (como elemento de presentación al cliente).

El anexo 2 muestra los elementos técnicos para el uso de la herramienta *Comparar DWG* y que será de sustento práctico para el uso de dicha herramienta en un ambiente de prueba y aplicación de la metodología en un ambiente práctico. Entre las principales limitaciones de la herramienta *Comparar DWG* definidas por Autodesk®, se encuentra el uso exclusivo de formato .dwg y no permite utilizar los resultados de una comparación para compararlo con un tercer dibujo.

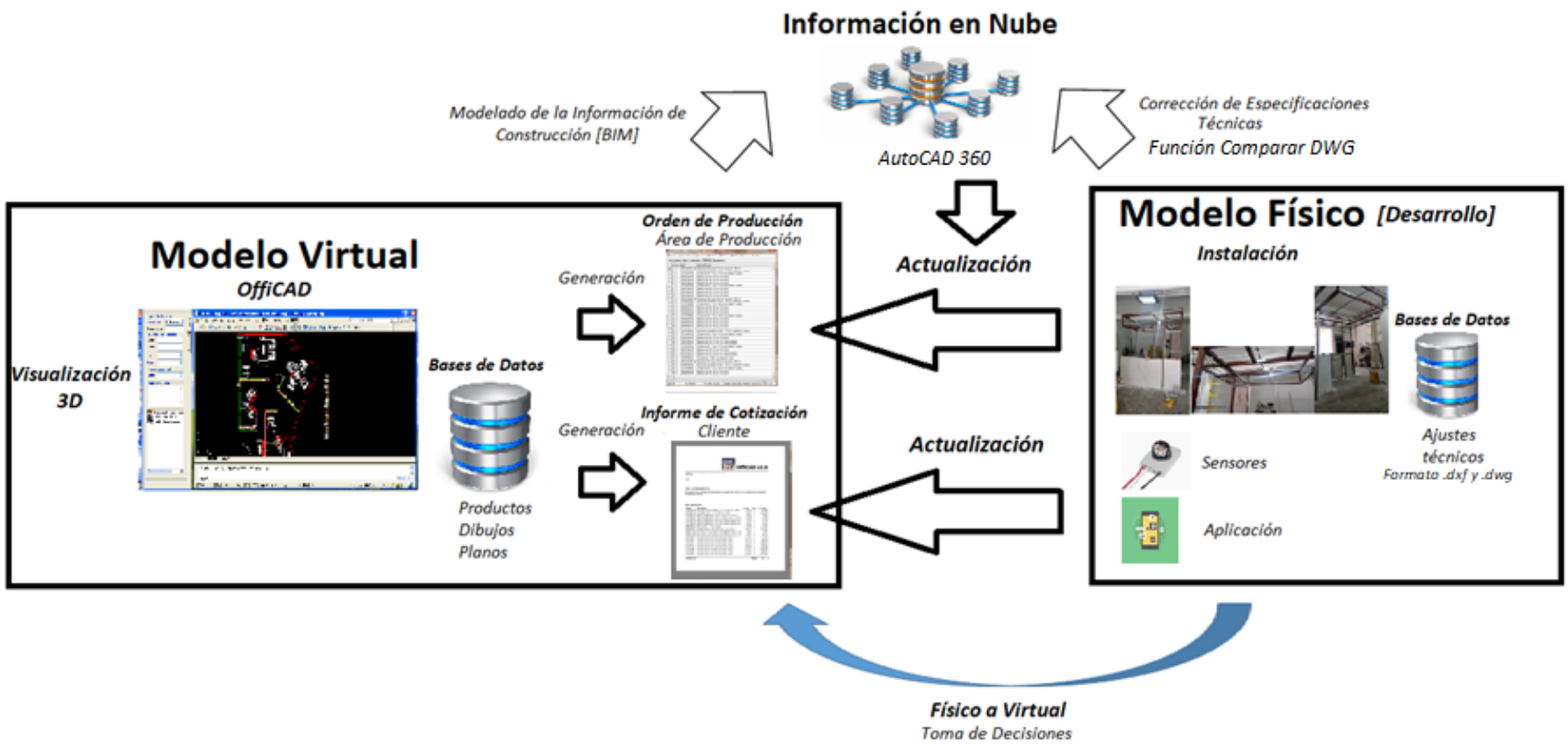


Figura 29. *Marco de trabajo propuesto*

Fuente: *Elaboración propia*

Resumiendo el marco de trabajo propuesto en la figura 37 para el proceso de instalación de amueblamiento modular, se tiene:

1. **Diseño inicial**: elaboración del diseño del proyecto a partir de los requerimientos del cliente y la satisfacción de las necesidades presentadas y que dieron origen al contacto con la empresa ofertante de muebles para oficina abierta. En este etapa del ciclo de vida del proyecto, *OffiCAD* es el software encargado del desarrollo de visualización 2D y 3D a partir de las especificaciones técnicas brindadas por la empresa cliente; orden de producción para la consolidación de los elemetos del producto necesarios para su materialización y cotización para el informe de costos al cliente son los elementos informativos dentro de esta etapa, integrando el diseño arquitectónico del proyecto con el diseño de costos y requerimientos de materiales necesarios.
2. **Información subida a AutoCAD 360**: una vez se tiene la información técnica desarrollada internamente en la empresa ofertante de muebles para oficina abierta en formato .dwg, esta se procede a subirla a la versión web de Autodesk® para su puesta a disposición y revisión por parte de los interesados del proyecto.
3. **Levantamiento de información en punto de instalación**: en etapa de instalación, se procede al levantamiento de información con ayuda de aplicaciones sustentadas en fotogrametría como metodología para el diseño tridimensional de un objeto a partir de la información suministrada por fotografías. Generalmente, el formato de levantamiento de dicha información es .dxf, razón por la cual se requiere cambio de formato a .dwg para posterior uso.
4. **Comparación de diseños**: el modelo virtual descrito en el apartado 1, se compara con el diseño levantado en etapa de instalación definido en el apartado 3 gracias a la herramienta *Comparar DWG* que ofrece AutoCAD, permitiendo identificar elementos similares y diferencias entre ambos diseños.
5. **Actualización de la información**: con la comparación, el diseñador procede a la actualización del diseño del apartado 1, mejorando las especificaciones técnicas definidas previamente y generando ajustes en orden de producción y cotización. Estas actualizaciones darán lugar a estructuas de costos y de recursos empresariales más reales, aumentando la efectividad de uso de estos últimos.

Conclusiones

La industria 4.0 es la nueva revolución industrial en la que se encuentra la humanidad, basada en el uso de sistemas ciber-físicos, con ayuda de la información como el motor de la toma de decisiones y el desarrollo de nuevas tecnologías y estrategias empresariales. Sistemas virtuales capaces de gestionar líneas de producción de forma eficiente, gestión de grandes cantidades de datos para la toma de decisiones, vinculación del internet con elementos cotidianos para el control de su actividad, gestión del ciclo de vida de un proyecto en todas sus etapas y frentes a partir del uso de software, son algunos de los ejemplos que caracterizan esta nueva era que, con ayuda de información histórico y grandes cantidades de información recolectada en tiempo real, permiten la gestión eficiente de los diversos sistemas en los que se encuentra inmerso el ser humano.

El sector de muebles para oficina abierta en Colombia es un sector consolidado, en su mayoría, por empresas pequeñas denominadas PYMES, que son el factor común de un alto número de las actividades económicas dentro del país. Estas empresas se caracterizan, entre otros aspectos, por poseer un bajo nivel financiero para su tecnificación, ampliación y desarrollo internacional, razón por lo cual, son susceptibles a ser eliminadas del mercado nacional como consecuencia de la llegada y consolidación de multinacionales con recursos técnicos, tecnológicos y financieros superiores.

La necesidad de mejorar el rendimiento en las diferentes etapas de un proyecto enfocado en el amueblamiento modular, ha incentivado iniciativas como lo es el desarrollo de la herramienta *OffiCAD*, capaz de integrarse con software especializado CAD de bajo costo, a fin de gestionar la información que se pueda generar en la etapa de diseño, con consecuencias como la automatización en la generación de informes enfocados al área de producción organizacional y al cliente en forma de cotización, mejorando los tiempos y recursos invertidos para tal fin.

La propuesta conceptual desarrollada en este trabajo presenta una forma en que se puede vincular la etapa de instalación de un proyecto de oficina abierta con el diseño, mejorando los tiempos de correcciones en plano y, por ende, disminuyendo los errores en etapa de producción y en la información suministrada al cliente en forma de cotización. Esta mejora conceptual que se presenta,

supone un ahorro de tiempo y recursos económicos y humanos, que mejorarían la productividad de las PYMES del sector a nivel nacional, haciéndolas más competitivas frente a las multinacionales.

La realidad aumentada como herramienta para integrar conceptos virtuales con entornos reales es una tecnología facilitadora de la industria 4.0 que busca captar el entorno real, procesar la información captada e integrarla con información digital pertinente al ámbito de uso, con el fin de aumentar la interacción del evento con la persona que lo requiera. Dentro del contexto de amueblamiento modular, la realidad aumentada como facilitadora de levantamiento de planos arquitectónicos para el mejoramiento en etapa de instalación, permitiendo disminución de uso de recursos y, en consecuencia, mejorando la efectividad del proyecto en cuestión.

Diseño preliminar a partir de la información suministrada por la empresa, es el modelo digital de la propuesta, pues consolida la virtualización del proyecto y con el cual se permite gestionar cambios de diseño y combinaciones de material, color y textura a bajo costo. Levantamiento de planos en el espacio físico de la instalación de amueblamiento modular supone el modelo físico de la propuesta; ayudado por la realidad aumentada, la fotogrametría y sensores capaces de recolectar información, las herramientas de diseño se conectan con la información legítima del estado del espacio del proyecto y permiten gestionar la información de ambas etapas para la actualización del diseño y mejora de la información que nace de este, facilitando un proyecto más fiel a las necesidades del cliente.

Como consecuencia de la pandemia causada por el COVID-19 durante el desarrollo de la propuesta, el nivel de avance efectuado corresponde a una revisión literaria y una propuesta conceptual sin oportunidad de ejecución, verificación y validación, para lo que se espera en próximos trabajos de la rama de investigación, el levantamiento de información de fuente directa, la viabilidad de la aplicación de una herramienta habilitadora de la industria 4.0 en la gestión de las diferentes etapas de vida de los proyectos relacionados a la industria de amueblamiento modular, el desarrollo de los elementos para su aplicación y la evaluación e impacto organizacional.

Referencias

[1] R. Technologies, “Cómo reducir el coste y el tiempo de ejecución de obras con BIM.” [Online]. Available: https://retaintechnologies.com/como-reducir-coste-tiempo-ejecucion-de-obras-bim/. [Accessed: 03-Jul-2021].

[2] N. Ccora, “Reducción de costos de interferencias constructivas del Centro Comercial Peruano aplicando la metodología BIM,” p. 149, 2017.

[3] F. B. Furniture, “BIM modelling.” [Online]. Available: https://www.flexiform.co.uk/bim-bang-when-flexiform-embraced-building-information-modelling. [Accessed: 03-Jul-2021].

[4] K. E. Charles, A. J. Danforth, J. A. Veitch, and B. Johnson, *Workstation Design for Organizational Productivity*, no. April. 2004.

[5] I. M. O. Pantoja, “Análisis de las pymes del sector de muebles en Colombia a partir del ingreso de compañias y productos extranjeros.,” *Univ. Agust.*, vol. 2, pp. 227–249, 2018.

[6] H. D. C. Villegas, “Análisis del sector,” no. 18, pp. 1–37, 2019.

[7] J. Alfonso, T. Ortiz, L. Emiro, C. Bravo, L. Fernando, and V. Tamayo, “Aplicación del Modelo Integrado de Desarrollo (BIM) en el Diseño de Proyectos para Oficina Abierta Application of the Building Information Model (BIM) to the Design of Open Plan Office Projects,” *En Ing.*, vol. 16, no. 2, pp. 78–93, 2011.

[8] DANE, “Boletín Técnico Índice de Producción Industrial (IPI) Boletín Técnico,” pp. 1–21, 2021.

[9] DANE, “Boletín Técnico Boletín Técnico,” pp. 1–34, 2020.

[10] “TOP 10 con los mejores softwares CAD para todos los niveles - 3Dnatives.” [Online]. Available: https://www.3dnatives.com/es/mejores-softwares-cad-programa-180320192/#! [Accessed: 10-Jun-2021].

[11] “¿Qué es la melamina? ¿Por qué se usa para fabricar muebles?” [Online]. Available: https://miroytengo.es/blog/que-es-la-melamina/. [Accessed: 10-Jun-2021].

[12] "MDF y Aglomerado, ¿en qué se diferencian? - Emedec." [Online]. Available: https://www.emedec.com/mdf-aglomerado-en-que-se-diferencian/. [Accessed: 10-Jun-2021].

[13] "Muebles de melamina, de chapa y macizos. Características y ventajas." [Online]. Available: https://lambdatres.com/2017/05/diferencias-entre-muebles-de-melamina/. [Accessed: 10-Jun-2021].

[14] A. M. C. Moreno, "Análisis y propuesta de mejoras productivas en carpintería de una empresa del sector del mueble de oficina mediante el uso de la Simulación," pp. 1–100, 2004.

[15] M. A. S. Molina, "CREACION DE EMPRESA CENTRO DE MOBILIARIO ESPECIALIZADO mi+a," *Univ. Autónoma Occident.*, 2013.

[16] L. S. N. Delgado, "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA DE FABRICACIÓN DE MUEBLES MULTIFUNCIONALES DE MADERA Y AFINES EN EL DISTRITO DE BUENAVENTURA," *Univ. del Val. Sede Pacífico*, vol. 4, no. 4, 2016.

[17] K. E. D. Valero, O. A. G. Meza, S. G. Roldán, J. P. Alcalá, and A. R. Silva, "Propuesta en Supply Chain Management y Logística en la Empresa Muebles Quintero Hermanos," *Univ. Nac. Abierta y a Distancia*, vol. 21, no. 1, pp. 1–9, 2020.

[18] A. K. Reyes Echeverría, L. E. Bautista Rojas, and L. C. Quintero Cárdenas, "Análisis de tecnologías para la transformación de material aglomerado de madera con fines de reciclaje," *Bistua Rev. La Fac. Ciencias Basicas*, vol. 16, no. 2, pp. 54–58, 2018.

[19] M. Krystofik, A. Luccitti, K. Parnell, and M. Thurston, "Adaptive remanufacturing for multiple lifecycles: A case study in office furniture," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 135, no. August 2017, pp. 14–23, 2018.

[20] M. Krystofik, A. Luccitti, K. Parnell, and M. Thurston, "Adaptive remanufacturing for multiple lifecycles: A case study in office furniture," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 135, no. January 2017, pp. 14–23, 2018.

[21] K. Besch, "Product-service systems for office furniture: Barriers and opportunities on the European market," *J. Clean. Prod.*, vol. 13, no. 10–11, pp. 1083–1094, 2005.

[22] K. Kimita and Y. Shimomura, "Development of the design guideline for product-service systems," *Procedia CIRP*, vol. 16, no. December 2014, pp. 344–349, 2014.

[23] M. Öhgren, L. Milios, C. Dalhammar, and M. Lindahl, "Public procurement of reconditioned furniture and the potential transition to product service systems solutions," *Procedia CIRP*, vol. 83, pp. 151–156, 2019.

[24] A. Shafaghat, A. Keyvanfar, H. Lamit, S. A. Mousavi, and M. Z. A. Majid, "Open plan office design features affecting staff's health and well-being status," *J. Teknol.*, vol. 70, no. 7, pp. 83–88, 2014.

[25] "Estrés térmico: la importancia de la ventilación en el entorno laboral | S&P." [Online]. Available: https://www.solerpalau.com/es-es/blog/estres-termico-ventilacion-laboral/. [Accessed: 16-Jun-2021].

[26] M. de A. y D. Sostenible, "Resolución 2254 'Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.'" 2017.

[27] M. Dainoff, "The Effect of Ergonomic Worktools on Productivity In Today's Automated Workstation Design," no. December, 2002.

[28] C. Anderson, C. Bailey, A. Heumann, and D. Davis, "Augmented space planning: Using procedural generation to automate desk layouts," *Int. J. Archit. Comput.*, vol. 16, no. 2, pp. 164–177, 2018.

[29] H. Homayouni, "A Survey of Computational Approaches to Space Layout Planning (1965-2000)," pp. 1–18, 2000.

[30] J. L. del Val Román, "Industria 4.0. La Transformación Digital de la Industria Española," *Coddiinforme*, p. 120, 2012.

[31] J. Vachalek, L. Bartalsky, O. Rovny, D. Sismisova, M. Morhac, and M. Loksik, "The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept," *Proc. 2017 21st Int. Conf. Process Control. PC 2017*, no. August, pp. 258–262, 2017.

[32] B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu, and S. Wartzack, "Shaping the digital twin for design and production engineering," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 66, no. 1, pp. 141–144, 2017.

[33] C. del B. Peón, "Los gemelos digitales en la industria 4.0," pp. 0–41, 2018.

[34] ACAN, "La industria 4.0."

[35] G. A. García and A. D. R. Reyes, "Propuesta De Un Modelo De Referencia Basado En Internet De Las Cosas Para Diseñar Soluciones Utilizando Tecnologías De La Información Y Comunicaciones," *XX Congr. Int. contaduria , Adm. e Inform.*, 2015.

[36] D. H. Peluffo, U. Surcolombiana, J. Ivan-rios, J. A. Castro-silva, and L. H. E. Llanos, "Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT)," no. April, pp. 1–9, 2017.

[37] P. Sanmartín Mendoza, K. Ávila Hernández, C. Vilora Núñez, and D. Jabba Molinares, "Internet de las cosas y la salud centrada en el hogar Internet of Things and Home-Centered Health,"

Barranquilla (Col.), vol. 32, no. 2, pp. 337–351, 2016.

[38] A. Cama and D. Cama, “Las redes de sensores inalámbricos y el internet de las cosas,” *Inge-Cuc*, vol. 8, no. 1, pp. 162–172, 2012.

[39] A. Mojica and D. Valencia, “Implementación de las metodologías BIM como herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá,” vol. 3, no. September, pp. 1–47, 2012.

[40] F. Choclán, M. Soler, and R. Márquez, “Aplicación de metodología BIM en la construcción de una obra lineal. Análisis del Software y usos,” *Spanish J. BIM*, no. 14/01, pp. 19–25, 2015.

[41] S. Azhar, “Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry,” *Leadersh. Manag. Eng.*, vol. 11, no. 3, pp. 241–252, 2011.

[42] L. S. F. Cano and C. D. A. Bermúdez, “Metodología BIM aplicada al diseño del bloque D del proyecto Aduanilla de Paiba de la Universidad Distrital ysu efecto en la proyección de costos de construcción,” 2020.

[43] P. De Lange, B. Bähre, C. Finetti-Imhof, R. Klamma, A. Koch, and L. Oppermann, “Socio-Technical challenges in the digital gap between building information modeling and industry 4.0,” *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1854, no. June, pp. 33–46, 2017.

[44] D. Solutions, “▷BIM para fabricantes.” [Online]. Available: https://www.datech.es/software/bim-para-fabricantes/. [Accessed: 23-Apr-2021].

[45] “Aplicación de la tecnología BIM en proyectos industriales.” [Online]. Available: https://tecnologiaparalaindustria.com/aplicacion-de-la-tecnologia-bim-en-proyectos-industriales/. [Accessed: 10-Jun-2021].

[46] “Macquarie University Incubator / Architectus | ArchDaily.” [Online]. Available: https://www.archdaily.com/916189/macquarie-university-incubator-architectus. [Accessed: 10-Jun-2021].

[47] “Programa para diseñar oficinas 2020 Cap | 2020 Spaces.” [Online]. Available: https://www.2020spaces.com/es/productos-de-2020/2020-cap-2/. [Accessed: 07-Jul-2021].

[48] “Software 3D gratuito para el diseño interior :: Diseño de interiores :: Diseño de interiores :: Soluciones :: EasternGraphics.”

[49] “Descarga archivos Revit de mesas, sillas, bancadas, armarios, soft seating.” [Online]. Available: https://www.actiu.com/es/muebles/zona-descargas/libreria-revit/. [Accessed: 07-Jul-2021].

[50] Y. Gao, H. Lv, Y. Hou, J. Liu, and W. Xu, “Real-time modeling and simulation method of digital twin production line,” *Proc. 2019 IEEE 8th Jt. Int. Inf. Technol. Artif. Intell. Conf. ITAIC 2019*, no. Itaic, pp. 1639–1642, 2019.

[51] H. Zhang, Q. Liu, X. Chen, D. Zhang, and J. Leng, “A Digital Twin-Based Approach for Designing and Multi-Objective Optimization of Hollow Glass Production Line,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 26901–26911, 2017.

[52] G. S. Martínez, S. Sierla, T. Karhela, and V. Vyatkin, “Automatic generation of a simulation-based digital twin of an industrial process plant,” *Proc. IECON 2018 - 44th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, pp. 3084–3089, 2018.

[53] D. I. Industrial and U. Coruña, “Diseño De Un Gemelo Digital Para El Gestor De,” pp. 499–505.

[54] D. P. Pérez, “Monitorización de la de un componente mediante gemelos digitales,” *Univ. Cantab.*, 2020.

[55] V. Singh, N. Gu, and X. Wang, “A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform,” *Autom. Constr.*, vol. 20, no. 2, pp. 134–144, 2011.

[56] R. Santos, A. A. Costa, J. D. Silvestre, T. Vandenbergh, and L. Pyl, “BIM-based life cycle assessment and life cycle costing of an office building in Western Europe,” *Build. Environ.*, vol. 169, no. April 2019, 2020.

[57] E. Ergen, B. Kula, G. Guven, and D. Artan, “Formalization of Occupant Feedback and Integration with BIM in Office Buildings,” *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 35, no. 1, p. 04020055, 2021.

[58] S. R. Chhetri, S. Faezi, N. Rashid, and M. A. Al Faruque, “Manufacturing Supply Chain and Product Lifecycle Security in the Era of Industry 4.0,” *J. Hardw. Syst. Secur.*, vol. 2, no. 1, pp. 51–68, 2018.

[59] A. del C. Diosdado, “Industria 4.0 rol de las redes sociales para conectar a las empresas en torno a una economia circular.,” p. 136, 2016.

[60] A. de las H. G. de Vinuesa, A. C. Roldán, M. J. Á. Gutiérrez, and F. A. González, “SOSTENIBILIDAD 4 . 0 : ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA INTEGRADO DEL PRODUCTO,” *Iv Jorn. Investig. Y Postgrado, Esc. Politécnica Super.*, pp. 213–218, 2017.

[61] P. Zheng, Y. Lin, C. H. Chen, and X. Xu, “Smart, connected open architecture product: an IT-driven co-creation paradigm with lifecycle personalization concerns,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 57, no. 8, pp. 2571–2584, 2019.

[62] Q. Zhang, X. Lu, Z. Peng, and M. Ren, “Perspective: a review of lifecycle management research on complex products in smart-connected environments,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 57, no. 21, pp. 6758–6779, 2019.

[63] J. Leng *et al.*, “Blockchain-empowered sustainable manufacturing and product lifecycle management in industry 4.0: A survey,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 132, no. July, p. 110112, 2020.

[64] “CAD / Diseño asistido por ordenador | Siemens Digital Industries Software.” [Online]. Available: https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507. [Accessed: 19-Jun-2021].

[65] E. Calle, “Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción Previa a la obtención del Título de : INGENIERO MECÁNICO Presentada por EFRAÍN TERÁN CALLE Guayaquil - Ecuador,” 2010.

[66] “Software – DIMSI.” [Online]. Available: https://comunidad.udistrital.edu.co/dimsi/productos/software/. [Accessed: 19-Jun-2021].

[67] D. C. G. Ortiz, “PROPUESTA DE GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN PARA MUEBLES Y SILLAS JO SAS,” *Univ. Dist. Fr. José Caldas*, vol. 4, no. 4, 2016.

[68] “SAP PP Orden de Producción | CVOPEDIA.” [Online]. Available: http://www.cvosoft.com/glosario-sap/sap/orden-de-produccion-1985.html. [Accessed: 20-Jun-2021].

[69] F. Profesional, I. A. Nivel, B. O. E. Publicaci, O. Pre, and R. Normativa, “CUALIFICACIÓN PROFESIONAL : Industrias cárnicas Competencia general Unidades de competencia Entorno Profesional Ámbito Profesional Sectores Productivos Ocupaciones y puestos de trabajo relevantes Módulos Formativos,” pp. 1–74, 2017.

[70] X. I. Congreso and I. D. E. Ingenieria, “El diseño axiomático : Oportunidades para el trabajo multidisciplinar en el diseño de productos.,” pp. 26–28, 2007.

[71] E. Rauch and D. T. Matt, “Status of the Implementation of Industry 4.0 in SMEs and Framework for Smart Manufacturing,” *Implement. Ind. 4.0 SMEs*, pp. 3–26, 2021.

[72] M. Souto-Vidal, J. Ortiz-Sanz, and M. Gil-Docampo, “Implementación del levantamiento eficiente de fachadas mediante fotogrametría digital automatizada y el uso de software gratuito,” *Inf. la Constr.*, vol. 67, no. 539, 2015.

[73] E. Cabrera Revuelta and B. Molero Alonso, “Closerange photogrametry. Previous works to the

data collection," *EGE-Expresión Gráfica en la Edif.*, no. 9, p. 33, 2016.

[74] J. S. C. Astorqui, "La fotogrametría digital en el levantamiento de planos de edificios," *Inf. la construcción*, vol. 55, no. 488, pp. 31–40, 2003.

[75] H. López, "Análisis y Desarrollo de Sistemas de Realidad Aumentada," 2010.

[76] Instituto Galego de Formación, "Comparar dibujos en AutoCAD." [Online]. Available: https://www.igf.es/comparar-dibujos-en-autocad/. [Accessed: 26-Jul-2021].

Anexo 1 Estructura y funcionamiento de *OffiCAD*

Interfaz de trabajo de *OffiCAD*

OffiCAD tiene la posibilidad de integrarse con sistemas CAD basados en el motor IntelliCAD, sin embargo, para el estudio de la herramienta y su visualización, se usó en el presente trabajo el software AutoCAD 2008 como software de integración con la herramienta.

Al iniciar AutoCAD 2008, la interfaz del programa se presenta al usuario con una variación si se tiene integrado *OffiCAD*: en la barra superior de herramientas, se habilita una pestaña llamada "OffiCAD" como se muestra en la figura 21.

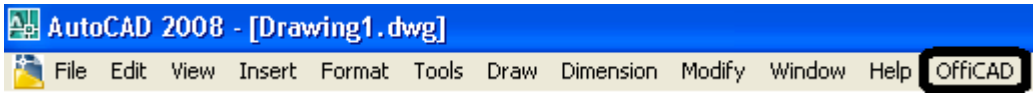


***Figura 30**. Barra de herramientas de AutoCAD en donde se puede visualizar OffiCAD*

***Fuente**: AutoCAD 2008*

El despliegue de la pestaña "OffiCAD" permite visualizar una serie de opciones propias de la herramienta que facilitan su uso. Al iniciar la herramienta *OffiCAD,* se habilita una interfaz propia en la que se tiene acceso a los siguientes elementos de configuración y uso:

- Elementos de visualización y ayuda sobre *OffiCAD.*
- Explorador de materiales, permitiendo visualizar la información de los elementos del proyecto y sus características técnicas.
- Herramientas automáticas de corrección (MIRROR y EXPLODE).
- Visualización de la información de un elemento seleccionado del proyecto.
- Visualización de los productos ofertados por la compañía que utiliza *OffiCAD* (Ejm, sistemas de pared, escritorios para oficina, sistemas de archivo, sillas operativas y de colectividad, muebles, paneles divisorios, mesas de trabajo, entre otros). Al ser un software personalizable, los productos dependerán de la empresa que adquiera *OffiCAD.*
- Reporte de cotización, en donde se especifica las condiciones de la cotización a realizar: tipo de reporte, consecutivo, información del proyecto (código, nombre, cliente, contacto), la persona encargada del proyecto y notas adicionales como facilitadores para especificar elementos necesarios.
- Visualizacion tridimensional, en donde permite captura del proyecto en estado actual, herramientas de ajuste de visualización tridimensional y un conjunto de secciones para editar el proyecto.

***Figura 31**. Interfaz de herramientas para el uso de OffiCAD*

***Fuente:**OffiCAD*

El diseño del proyecto se puede realizar en la interfaz que presenta AutoCAD para el cliente, con las mismas herramientas habituales del software. *OffiCAD* presenta la facilidad de visualizar las características del producto dentro del proyecto que se requiera, especificando tipo de producto, especificaciones, material, acabados, entre otros.

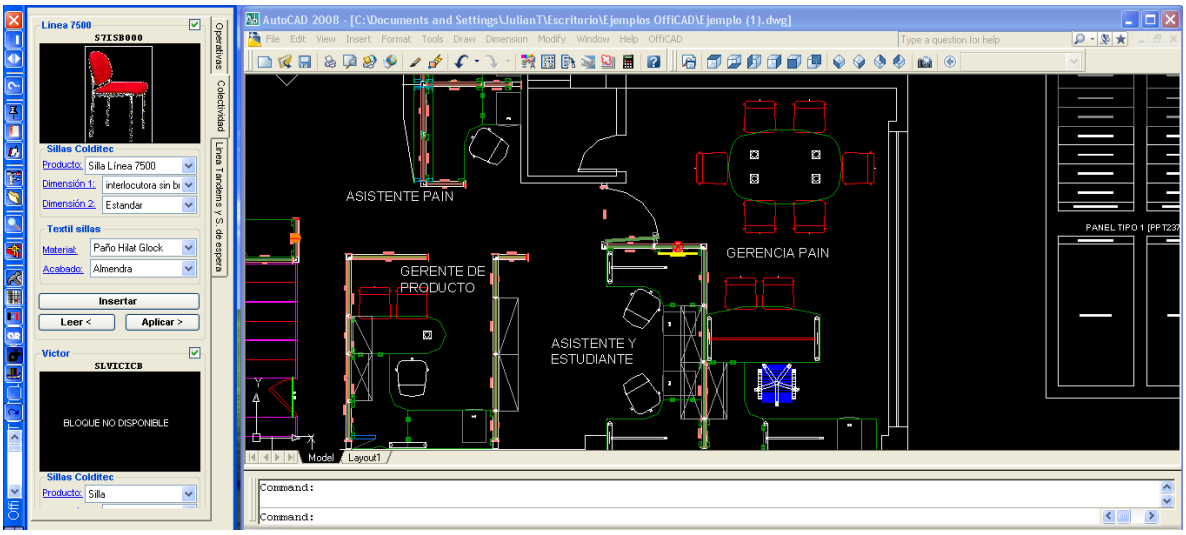


***Figura 32**. Interfaz gráfica conjunta (AutoCAD y OffiCAD), especificando información de sillas sección "Gerencia Pain" (Información al costado izquierdo de la imagen)*

***Fuente**: AutoCAD 2008 Y OffiCAD*

Una de las caracteristicas que hacen de *OffiCAD* una herramienta aportadora de valor para las organizaciones del sector de amueblamiento modular es su capacidad de vincular el diseño del proyecto con las especificaciones técnicas y una estructura de costos gracias a la base de datos del programa que posibilita, en tiempo de ejecución, el reporte del proyecto, tanto para el cliente como para la empresa y su área de producción (véase Figura 16. *Cotización, geometría y orden de producción de un proyecto en OffiCAD (Respectivamente de izquierda a derecha))*.

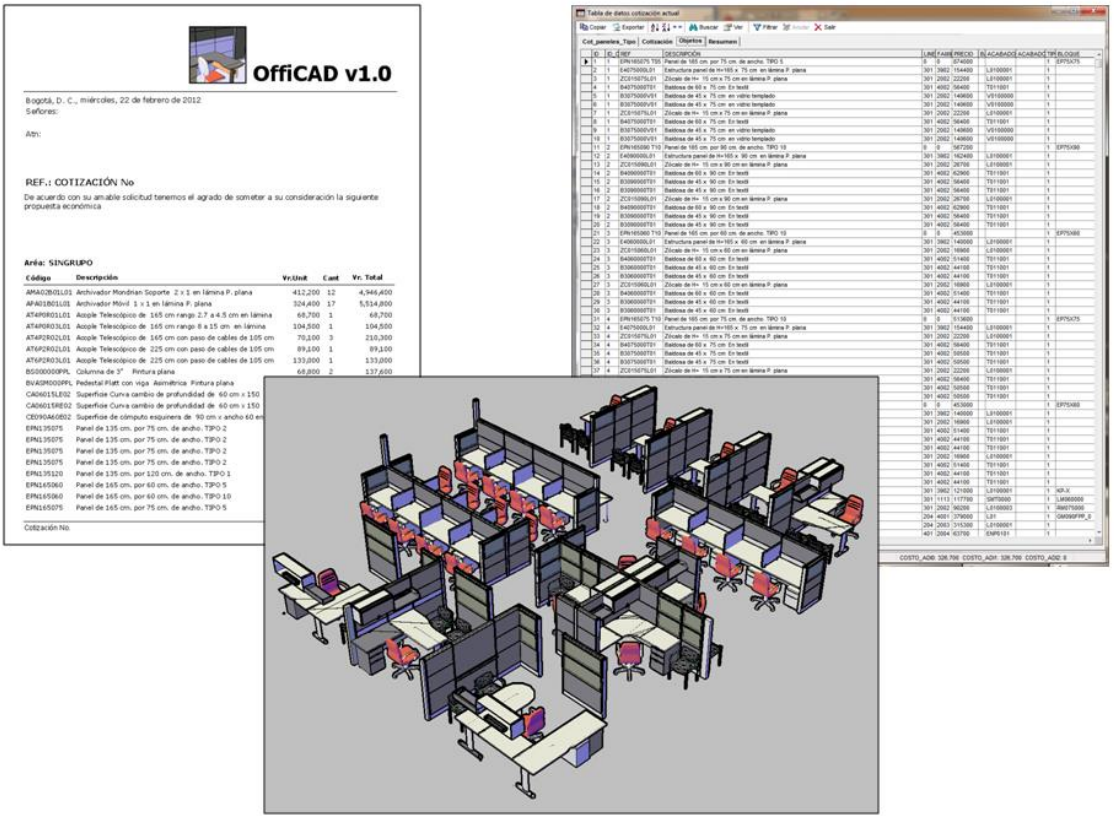


***Figura 33**. Cotización, geometría y orden de producción de un proyecto en OffiCAD (Respectivamente de izquierda a derecha)*

***Fuente:** [39]*

Especificaciones de productos en *OffiCAD*

La herramienta *OffiCAD*, al ser una herramienta personalizada, permitirá visualizar los productos que la empresa adquisidora oferte, sin embargo, para un mayor entendimiento de la capacidad de gestión de la herramienta, se expondrán una serie de características de dos tipos de productos concebidos: plataformas y paneles divisorios.

Plataformas

En términos generales, una plataforma de trabajo es una superficie de trabajo en donde los trabajadores pueden apoyarse para realizar sus labores. Generalmente son superficies lisas, planas y que permiten un flujo suave de diferentes elementos sobre ésta. Se pueden clasificar básicamente en dos tipos: escritorios y mesas auxiliares.

Escritorios y Mesas Auxiliares

OffiCAD permite la configuración del escritorio al gusto del cliente y el diseñador, facilitando la selección entre diferentes variedades (rectangulares o de cómputo, por ejemplo). Permite desplegar una serie de opciones entre la categoría “producto” para detallar el elemento que se quiere insertar en el área de trabajo del diseñador (Ejm, escritorio de computo, escritorio frontal, mesa delta), a su vez que permite especificar las dimensiones requeridas (ancho y profundidad), el material disponible para la elaboración del elemento (fórmica, por ejemplo) y algunas otras consideraciones particulares como el color, por ejemplo. Además, presenta la posibilidad de visualizar el elemento gracias al espacio que se configuró para la foto del objeto que se está seleccionando.

***Figura 34**. Ejemplo de configuración de escritorios (Escritorio rectangular de 60x75 cm en material fórmica a la izquierda y escritorio de cómputo de 120x120 cm en material fórmica a la derecha)*

***Fuente**: OffiCAD*

Una vez se especifiquen las diferentes características requeridas del escritorio, éste se puede insertar en el área de trabajo del proyecto y se tendrá la información técnica disponible para la generación de los reportes necesarios.

El proceso de selección de una mesa auxiliar es el mismo, en cuyo caso solo varía el material (si aplica dicha variación), las dimensiones físicas y el tipo de producto (pueden ser mesas de remate, retorno, superficie de conexión, entre otras). Al momento de ser aplicado el objeto al área de trabajo, éste podría ser modificado en orientación espacial, facilitando una visualización realista del objeto en el proyecto.

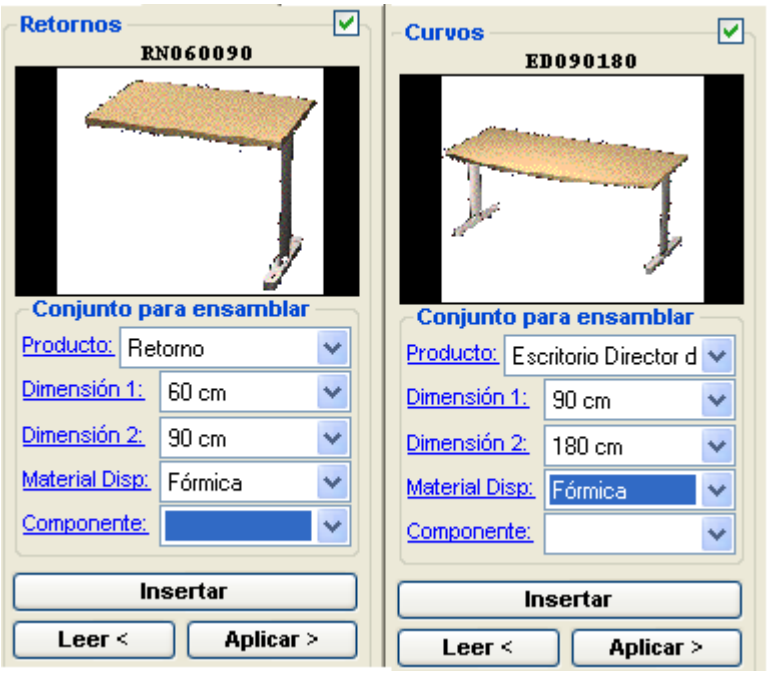


***Figura 35**. Ejemplo de configuración de mesas auxiliares (Mesa retorno de 60x90 cm en material fórmica a la izquierda y mesa auxiliar curvo de 90x180 cm en material fórmica a la derecha)*

***Fuente**: OffiCAD*

Al igual que los escritorios y las mesas auxiliares, cualquier objeto se puede configurar en tipo, dimensiones, material, color y demás características a que dieran lugar, para ser seleccionados e insertados en el proyecto que se esté diseñando.

Paneles Divisorios

Un panel divisorio de oficina es un objeto que permite la división del espacio físico en un lugar de trabajo determinado, generando diversos grados de privacidad según su ubicación, diseño, dimensionamiento y demás características propias; permite la generación de fronteras de trabajo. Al igual que los escritorios, los paneles divisorios presentan una estructura de selección de especificaciones técnicas similar, en donde se puede escoger entre el tipo de producto (conexión en T, conexión en X, sócalo externo, entre otros), el tipo de lámina como material y demás características como acabados, por ejemplo.

***Figura 36**. Ejemplo de configuración de panel: panel tipo conexión en T con dimensión de 150 cm en lámina plana y blanco mate.*

***Fuente**: OffiCAD*

En términos generales, cualquier objeto que se encuentre almacenado en la base de datos de *OffiCAD,* presenta una estructura de personalización similar:

- **Producto**: en donde se especifica al detalle el objeto que se pretende agregar al proyecto.
- **Dimensiones**: especificaciones físicas de longitud del objeto en cuestión.
- **Material**: lista de materiales disponibles y en los que se puede producir el objeto en cuestión.
- **Acabados**: especificaciones finales de color y demás consideraciones.

Una vez que se condicionen las especificaciones técnicas del objeto, éste se podrá agregar al proyecto con ayuda de los botones estructurados para tal fin y que se encuentran disponibles en la parte inferior de la estructura de especificaciones del objeto.

Anexo 2 Herramienta *Comparar DWG de AutoCAD*

Autodesk.help brinda información referente a la comparación de dos dibujos en formato dwg a través de la herramienta *Comparar DWG.* Esta ayuda permite la comparación visual dos dibujos, identificando los objetos que se han modificado, añadido o eliminado en el dibujo de revisión. Utiliza 3 colores en el momento de la comparación: verde (para los objetos que solo están en el dibujo actual), rojo (para objetos que no existen en el dibujo actual) y gris (para los objetos que coinciden en ambos dibujos); esta combinación de color se puede modificar. Por defecto, el nombre del archivo del dibujo de comparación se estructura así: Compare_< *nombre del primer dibujo*> vs <*nombre del segundo dibujo*>*.dwg* y corresponde a un archivo no guardado. La comparación siempre se realiza en una vista de plano de los dibujos dwg.

1. Se procede a abrir el primer dibujo a comparar.

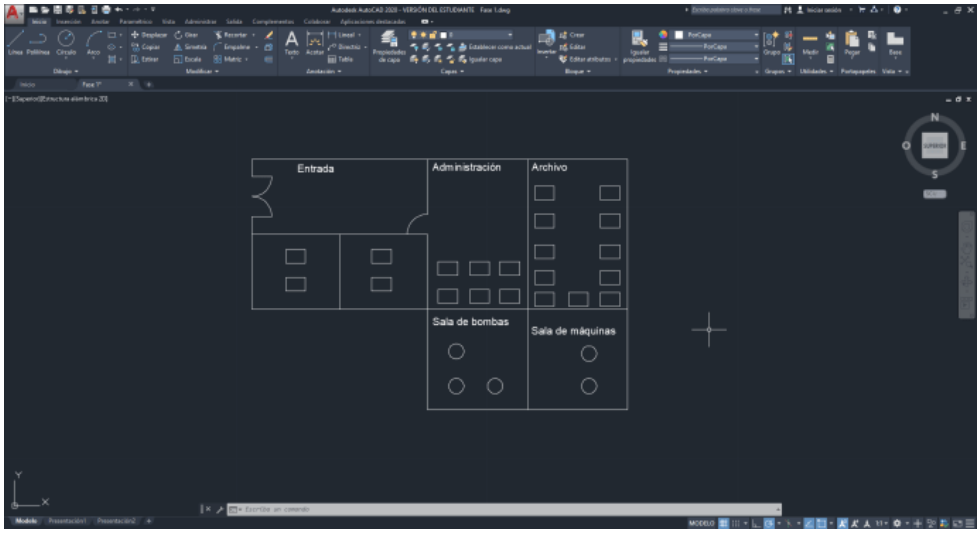


Figura 37*. Apertura del primer dibujo DWG*

Fuente*:* [76]

2. Se sigue la siguiente ruta: icono de AutoCAD -> Ayudas al dibujo -> Comparar DWG

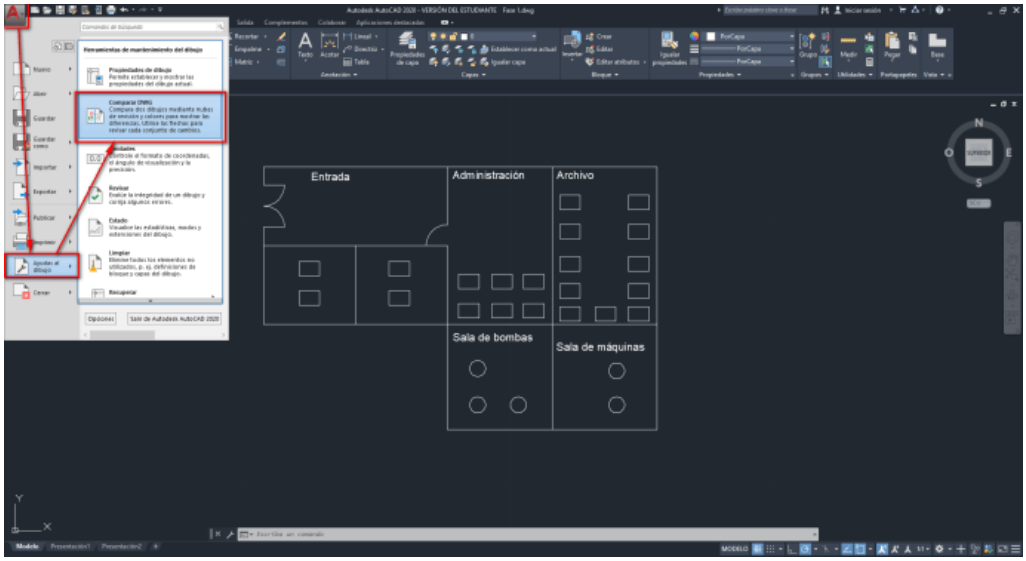


***Figura 38**. Uso de la herramienta Comparar DWG*

Fuente: [76]

3. Selección del dibujo para la comparación.

Una vez se tienen los dibujos abiertos, los elementos se empezarán a colorear según asignación de colores para diferencias entre dibujos, facilitando identificar elementos que requieren de un ajuste en relación a un diseño objetivo.

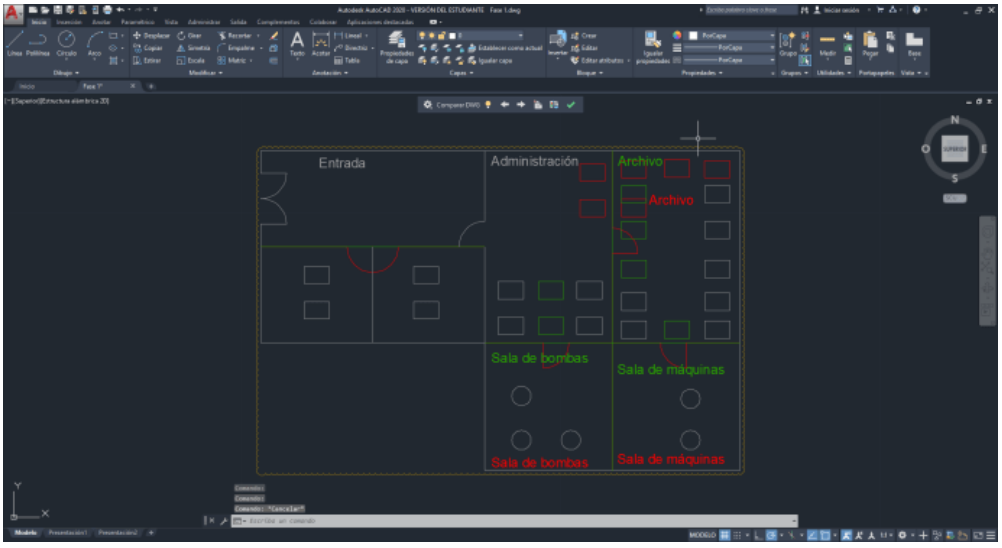


***Figura 39**. Comparación de objetos en dibujos DWG*

***Fuente**:* [76]