

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**



**INFORME FINAL DEL CURSO DE PRE ESPECIALIZACIÓN:
GESTIÓN Y TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

TITULO DEL INFORME FINAL:

**"INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA INGENIERÍA Y ARQUITECTURA: EL IMPACTO
DE HERRAMIENTAS DIGITALES EN EFICIENCIA Y CALIDAD"**

PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

BR. AYALA ROGEL, OVIDIO EDUARDO N° CARNÉ AR18056
BR. GONZÁLEZ GONZÁLEZ, ÁNGEL EDGARDO N° CARNÉ GG18057
BR. VILLATORO AVILÉS, ROSA GUADALUPE N° CARNÉ VA18001

DOCENTE ASESOR:

MSC. ARQ. MILTON RICARDO ANDRADE CHINCHILLA

NOVIEMBRE DE 2023

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES



RECTOR

MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA

VICERRECTORA ACADÉMICA

DRA. EVELYN FARFÁN MATA

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

DEFENSOR DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS

LICDO. LUIS ANTONIO MEJÍA LIPE

FISCAL GENERAL

LICDO. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARÍN

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**AUTORIDADES****DECANO**

MSC. CARLOS IVÁN HERNÁNDEZ FRANCO

VICEDECANA

DRA. NORMA AZUCENA FLORES RETANA

SECRETARIO**DIRECTOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO****JEFE DE DEPARTAMENTO**

ING. RIGOBERTO LÓPEZ

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO

ING. MILAGRO DE MARIA ROMERO DE GARCIA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA CIVIL

CURSO DE ESPECIALIZACIÓN, PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

TÍTULO:

**"INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA INGENIERÍA Y ARQUITECTURA: EL IMPACTO
DE HERRAMIENTAS DIGITALES EN EFICIENCIA Y CALIDAD"**

PRESENTADO POR:

BR. AYALA ROGEL, OVIDIO EDUARDO
BR. GONZÁLEZ GONZÁLEZ, ÁNGEL EDGARDO
BR. VILLATORO AVILÉS, ROSA GUADALUPE

CURSO DE ESPECIALIZACION APROBADO POR:

MSC. ARQ. MILTON RICARDO ANDRADE CHINCHILLA

DOCENTE ASESOR:

MSC. ARQ. MILTON RICARDO ANDRADE CHINCHILLA

CIUDAD UNIVERSITARIA ORIENTAL, NOVIEMBRE DE 2023

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS	11
METODOLOGÍA	12
TIPO DE INVESTIGACIÓN	12
MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	12
CONCEPTUALIZACIÓN.....	14
HISTORIA	15
PRINCIPALES DESARROLLOS DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL Y HERRAMIENTAS A ESTUDIAR.....	18
Estado del Arte de la Tecnología Digital en la Construcción	22
TRANSFORMACIÓN DE PROCESOS	23
1. AutoDesk, AutoCAD.....	24
2. AutoDesk, Revit.....	28
3. Dlubal RFEM 5.....	33
4. ETABS	36
5. Metodología BIM (<i>Building Information Modeling</i>).....	37
ANÁLISIS DE CASO- Virtualización de una infraestructura.	44
IMPACTO EN LA CALIDAD DEL DISEÑO Y EJECUCIÓN:	46
BENEFICIOS Y DESAFÍOS DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL EN LA CONSTRUCCIÓN	48
IMPORTANCIA DE LA FORMACIÓN Y CAPACITACIÓN.....	52
ESTUDIO DE CASOS - Implantación de tecnología digital en empresas de El Salvador	56
DISCUSIÓN	63
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Definición de innovación Fuente: (Sánchez,F.;Etxeberría, M.B.,y Cilleruelo,E. 2001)	15
Figura 2. Línea del tiempo de la historia del BIM Fuente: (Autoría propia).....	17
Figura 3. Flujo de procesos (actividades de construcción actual) Fuente: (Creación propia).....	18
Figura 4. Flujo de procesos (actividades mediante el internet de las cosas) Fuente: (creación propia).....	18
Figura 5. Cronología de las revoluciones industriales Fuente (Pico, 2022)	20
Figura 6. Tecnologías clave de la industria 4.0 Fuente: (otao, 2023).....	21
Figura 7. Tipos de modelados 3D en AutoCAD Fuente (Marchante, 2022).....	25
Figura 8. Programa AutoCAD Fuente: (Fácil, 2020).....	27
Figura 9. Programa AutoDesk, Revit Fuente: (Revit, 2023)	30
Figura 10. Interfaz de usuario Fuente: (Mensos, 2021).....	31
Figura 11. Análisis de Revit Architecture Fuente (Bravo, 2021)	32
Figura 12. Programa Dlubal RFEM 5. Fuente (dlubal, 2022)	33
Figura 13. Software de análisis para planificación estructural Fuente (Chara, 2022).....	34
Figura 14. Software de análisis estructural Dlubal y BIM	35
Figura 15. Programa ETABS Fuente: (ETABS, 2023)	37
Figura 16. Ciclo de vida de un modelo BIM fuente (Ingenieria, 2023)	38
Figura 17: Niveles del BIM de Bew-Mervyn. Tomada y traducida de: McPartland, BIM Levels explained, 2014.....	40
Figura 18. VENTAJAS METODOLOGIA BIM Fuente: (Docio, 2016)	42
Figura 19. Modelado 3D para la construcción del puente sobre 6° Av. Norte, Colonia Granillo Fuente: (Estructural, 2023)	45
Figura 20. Puntos importantes de BIM (Fuente: Autoría propia).....	50
Figura 21. Diseño Estructural de Auto Hotel Fuente:(ESTRUCTURAL, facebook, 2023)	56
Figura 22. Puente vehicular de 40m de longitud. Fuente. (ESTRUCTURAL, Facebook, 2022)	57
Figura 23. Diseño Estructural de Farmacia Don Bosco. Fuente: (ESTRUCTURAL, Facebook, 2021)	58
Figura 24. Diseño estructural PLAZA REALEZA Fuente. (Andrade, 2019)	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Preceptos de la construcción 4.0 Fuente: (Silva & Alejandra, 2023)	47
Tabla 2. Beneficios de la industria 4.0 Fuente: (Silva & Alejandra, 2023)	49
Tabla 3. Idealización sobre el BIM Fuente: (Arevalo Pizarro & Soto Arrieta , 2022)	63
Tabla 4. Diferencia entre BIM Y CAD (Fuente: Autoría propia).....	64

TITULO: "INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA INGENIERÍA Y ARQUITECTURA: EL IMPACTO DE HERRAMIENTAS DIGITALES EN EFICIENCIA Y CALIDAD"

RESUMEN

Gracias al enorme avance tecnológico de las últimas décadas han surgido una gran cantidad de herramientas digitales orientadas a optimizar las actividades laborales, los últimos en unirse a la fila de innovaciones son la industria 4.0 que están conformados mayormente por sistemas ciber físicos y redes, estos ampliaron enormemente las posibilidades y utilidades disponibles. Enfocándose en la construcción y gestión de obras en El Salvador, algunos de los programas desarrollados y actualizados en la transformación digital que se utilizan en la Ingeniería y arquitectura son: AutoCAD: que se basa en el dibujo 2d y 3d útil para realizar planos, detalles, cortes entre otros. Revit: se basa en modelos tridimensionales y puede abarcar desde el diseño de una obra hasta su construcción y mantenimiento, al estar enfocado en BIM permite interconectividad entregando información en tiempo real a los dispositivos enlazados. RFEM 5: permite modelar y evaluar el comportamiento de estructuras, este programa también puede integrarse al sistema BIM permitiendo compatibilidad con Revit. ETABS: otro programa que permite modelar y evaluar el comportamiento de estructuras, los diseños CAD pueden ser convertidos a ETABS. Gracias a estos programas se puede ahorrar una gran cantidad de recursos y ser mucho más competitivos en el mercado actual usándolos de manera correcta, esto se refleja en los casos expuestos como en este documento donde se aprecia el impacto positivo de su aplicación en nuestro medio. Sin embargo, se debe de promover aún más su uso hasta poder normalizarlo en la ingeniería y Arquitectura de El Salvador.

Palabras clave: Educación virtual, Convergencia tecnológica, Obstáculos didácticos, Ingeniería, Innovación.

TITLE: "TECHNOLOGICAL INNOVATION IN ENGINEERING AND ARCHITECTURE: THE IMPACT OF DIGITAL TOOLS ON EFFICIENCY AND QUALITY".

ABSTRACT

Thanks to the enormous technological advance of recent decades, a large number of digital tools have emerged aimed at optimizing work activities. The latest to join the line of innovations are industry 4.0, which are made up mostly of cyber systems and physical networks. These have expanded wide possibilities and utilities available. Focusing on the construction and management of works in El Salvador, some of the programs developed and updated in the digital transformation that are used in Engineering and architecture are: AutoCAD: which is based on 2D and 3D drawing useful for making plans, details , cuts among others. Revit: is based on three-dimensional models and can range from the design of a work to its construction and maintenance. Being focused on BIM, it allows interconnectivity by delivering information in real time to linked devices. RFEM 5: allows modeling and evaluating the behavior of structures, this program can also be integrated into the BIM system allowing compatibility with Revit. ETABS: another program that allows modeling and evaluating the behavior of structures, CAD designs can be converted to ETABS. Thanks to these programs, you can save a large amount of resources and be much more competitive in the current market by using them correctly. This is reflected in the cases presented, such as in this document, where the positive impact of their application in our environment can be seen. However, its use must be promoted even more until it can be normalized in the engineering and architecture of El Salvador.

Keywords: Virtual education, Technological convergence, Teaching obstacles, Engineering, Innovation.

INTRODUCCIÓN

Una característica del ser humano es utilizar herramientas, en el principio del tiempo era para disminuir el trabajo físico realizado, sin embargo, esto fue evolucionando junto con la civilización, pero su finalidad sigue siendo disminuir el trabajo y usar los recursos disponibles de la manera más eficaz posible. Estas herramientas no son necesariamente físicas, también existen herramientas virtuales que nos brindan apoyo en el ámbito laboral.

Debido al rápido crecimiento de la tecnología se han desarrollado numerosos programas y herramientas, por lo que puede llegar a ser confuso si no se tiene una orientación adecuada del uso de cada una, debido a esta problemática es necesario conocer lo básico de los programas que más se destacan en el ámbito de la Ingeniería y Arquitectura

En la construcción existen una infinidad de herramientas para agilizar y eficientizar la mayoría de sus etapas, es necesario conocer las más utilizadas en el medio laboral para poder sacar el mayor provecho de estas ya que un correcto uso puede dar ventaja sobre la competencia.

Cabe destacar que debido al rápido crecimiento tecnológico también se desarrolla una problemática, la gran curva de aprendizaje que es generada, por esta razón muchos profesionales muestran resistencia a las nuevas tecnologías emergentes, ya que tienen que salir de su zona de confort y aceptar nuevos paradigmas.

En El Salvador se da una problemática relacionada con lo mencionado anteriormente. La negación o indiferencia, así como los códigos o estándares que no promueven el uso de las nuevas tecnologías; pueden disminuir su uso y por consiguiente los beneficios de estas herramientas, sin embargo, es necesario conocer lo básico que estas innovaciones ofrecen. Existen algunos proyectos en nuestro medio que empiezan a adaptar la Metodología BIM, los cuales se presentan más adelante. Finalmente, partiendo de los ejemplos se puede empezar a comprobar su utilidad de manera que algún día, utilizar estas nuevas herramientas pueda ser algo cotidiano.

"INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA INGENIERÍA Y ARQUITECTURA: EL IMPACTO DE HERRAMIENTAS DIGITALES EN EFICIENCIA Y CALIDAD"

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- i. Importancia de las herramientas digitales en la eficiencia de los procesos constructivos de Ingeniería y Arquitectura.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ii. Analizar cómo la adopción de tecnologías digitales ha influido en la calidad y precisión de los diseños y ejecución de proyectos de construcción.
- iii. Explorar los beneficios y desafíos asociados con la implementación de herramientas digitales en proyectos de construcción.

METODOLOGÍA

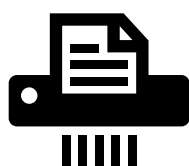
TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación adopta un enfoque analítico descriptivo y sistemático, con un carácter exploratorio, a través de una serie de revisiones exhaustivas de numerosas fuentes documentales registradas en las fundamentales cimentaciones del conocimiento científico, tales como bibliografías, revistas especializadas, sitios de investigación dedicados a las tecnologías en la construcción, así como otros artículos científicos enlazados al tema en cuestión; son la base para poder realizar esta investigación

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En consonancia con el enfoque previamente descrito, el ensayo emplea como metodología la comparación de actividades llevadas a cabo en la Ingeniería y Arquitectura, tanto como sin la implementación de tecnología, con el propósito de mejorar y acelerar el avance de las obras. Además, se exploran posibles aplicaciones futuras, respaldadas por evidencia de viabilidad dentro del sector inmobiliario. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos y se lleva a cabo un análisis final sobre el impacto de la tecnología en la Ingeniería y Arquitectura

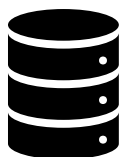
Considerando lo anterior, teniendo en cuenta que la investigación es de carácter sistemática, se presenta la secuencia de la misma:



1. Investigación de fuentes bibliográficas, conceptualización y antecedentes históricos.

2. Principales desarrollos de la tecnología digital y herramientas a estudiar.

3. Transformación de Procesos:



Evaluación de cómo las herramientas digitales han agilizado los procesos tradicionales de planificación y ejecución de proyectos.

Análisis de casos de estudio que ilustran la mejora en la eficiencia lograda mediante la adopción de estas tecnologías.

4. Impacto en la Calidad del Diseño y Ejecución:

Exploración de cómo las herramientas digitales, como el modelado 3D, han elevado la precisión y la calidad en los diseños de construcción.

5. Beneficios y Desafíos de la aplicación de la tecnología digital en la construcción:



Análisis detallado de los beneficios obtenidos al implementar herramientas digitales, como la reducción de errores y la optimización de recursos.

Identificación de desafíos comunes, como la curva de aprendizaje y los costos asociados con la implementación.

6. Importancia de la Formación y Capacitación:



Evaluación de la relevancia de la formación continua para los profesionales de la construcción en la adopción exitosa de estas herramientas.

Recomendaciones para programas de capacitación que aseguren una transición efectiva hacia un entorno digital.

7. Estudio de casos de implantación de tecnología digital en empresas de El Salvador



Identificar casos donde se apliquen las nuevas tecnologías en El Salvador, así como unas consideraciones sobre los avances tecnológicos en la construcción Civil de El Salvador

8. Conclusiones y recomendaciones.



CONCEPTUALIZACIÓN

Los conceptos centrales de la investigación se definen a continuación:

Se deberá entender la *Educación virtual* en el sentido que lo maneja (Loaiza, 2002, pág. 85): "La Educación Virtual enmarca la utilización de las nuevas tecnologías, hacia el desarrollo de metodologías alternativas para el aprendizaje de alumnos de poblaciones especiales que están limitadas por su ubicación geográfica, la calidad de docencia y el tiempo disponible".

Según (LANIA, 2017, pág. 1) la *Convergencia tecnológica* implica la investigación multidisciplinaria centrada en la confluencia e interacción de nanotecnología, biotecnología, tecnologías de la información y ciencias cognitivas (NBIC) con el objetivo de crear valor agregado y generar áreas de conocimientos emergentes orientadas a enfrentar los nuevos retos de la economía y la sociedad de la próxima década. Entre estos desafíos se destaca la aceleración de avances en tecnologías convergentes, la creación de nuevas industrias y puestos de trabajo limítrofes de estas tecnologías y una creciente creatividad, innovación y productividad (Roco et al., 2013)

Los *Obstáculos didácticos* en el enfoque que lo maneja (Brousseau 1983) define un obstáculo como un conocimiento que en un determinado ámbito de aplicación es válido y cierto, pero que en un ámbito más amplio se torna falso o inadaptable. Un obstáculo se manifiesta a través de errores los cuales reflejan una concepción coherente pero no correcta

Se deberá entender la *Ingeniería* partiendo del punto de vista de (Lara, 2010, pág. 1) Desde su concepción, la ingeniería está llamada a proporcionar soluciones a las necesidades del ser humano en distintas áreas, teniendo a la ciencia y la tecnología como cimiento. Puede observarse la definición que proporcionó el ABET (*Accreditation Board for Engineering and Technology*) en 1941, donde se establece que esta constituye

“La aplicación creativa de principios científicos para diseñar o desarrollar estructuras, maquinaria, aparatos o procesos de manufactura o mecanismos, utilizándolos solos o en combinación; o para construir u operar [los] con total conocimiento de su diseño; o para pronosticar su comportamiento bajo condiciones de operación específica; todo en lo que se refiere a una función prevista, economía de operación y seguridad para la vida y la propiedad”

La *innovación* según la perspectiva de (Sánchez,F.;Etxebarria,M.B.,y Cilleruelo, E. 2001), la definen como: “El resultado original exitoso aplicable a cualquier ámbito de la sociedad, que supone un salto cuántico no incremental, y es fruto de la ejecución de un proceso no determinista que comienza con una idea y evoluciona por diferentes estadios; generación de conocimiento, invención, industrialización y comercialización, y que está apoyado en un paradigma organizacional favorable, en el que la tecnología supone un papel preponderante, y el contexto social en el que se valora la inversión en creación de conocimiento una condición necesaria”

Ver figura 1.

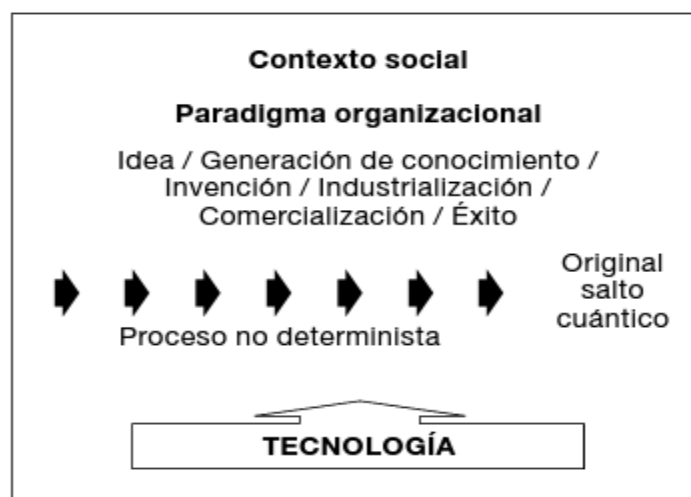


Figura 1. Definición de innovación

Fuente: (Sánchez,F.;Etxeberría, M.B.,y Cilleruelo,E. 2001)

HISTORIA

Con el paso de los años y gracias a las mejoras computacionales, ya no era una idea descabellada pensar en que la inteligencia artificial podría competir e incluso superar la mente humana. Hay que aclarar que más que una carrera entre el hombre y lo digital, el propósito del desarrollo de tecnologías basadas en inteligencia artificial, es el apoyo de estas en las tareas más complejas del ser humano y, claramente, la construcción es una de ellas. Así, rápidamente empezaron a crearse algoritmos diseñados para la gestión de proyectos de construcción. Estos algoritmos, cuyo punto de partida fue la teoría de grafos, permitieron calcular redes CPM (Critical Path Method), MPM (Metra Potential Method) y PERT (Program Evaluation Review Technique). Sin embargo, aún había dificultades que impedían estas soluciones a través de computadores de procesamiento de información artificial, debido a esto se introdujeron las variables fuzzy. Inicialmente fueron implementadas en los diagramas de PERT, donde las soluciones a los sistemas y la estimación de

duraciones del proyecto tenían su base en distribuciones probabilísticas Beta y en la experiencia dada por gerentes de construcción expertos. (Hempelmann et al., 1999)

Las primeras herramientas computacionales utilizadas inician a emplearse alrededor de los años setenta, las cuales ayudaban a los cálculos de los proyectos de ingeniería (Fenves et al., 1965). Posteriormente, en la década de los ochenta, los dibujos computacionales dieron paso a los dibujos técnicos, elaborados digitalmente, también se crearon soluciones de software de ingeniería civil para computadores domésticos (Turk, 2019).

En 1975, Chuck Eastman publicó un artículo en la revista AIA (American Institute of Architects) describiendo un concepto al que llamó Building Description System (BDS), un sistema donde diseñar implicaba definir elementos de manera interactiva, esto significaba que sería posible obtener secciones, plantas, isométricos desde un mismo modelo 3D y cualquier cambio que se hiciera en alguno de los dibujos, se iba a actualizar automáticamente en el resto de las vistas (Sacks et al., 2018).

(Barnes & Davies, *BIM in Principle and in Practice*, 2015). Nos dicen que CAD nace entre los años 1950 y 1960, con algunas de las industrias más grandes de fabricación que podían permitirse tener una unidad central de informática, algo muy raro que ocurriera en esos tiempos. Estas organizaciones creaban su propio software para producir sus dibujos 2D en computadora y el retorno de dicha inversión se veía plasmado en el tiempo ahorrado comparado con hacer los mismos dibujos a mano. Es decir, de manera tradicional

“De manera que conforme pasó el tiempo, se fue incrementado el uso de CAD y en consecuencia hubo un desarrollo del software en el que estaba basado[...]evoluciono de tal manera que CAD tuvo la capacidad de comunicar información de diseño de productos directamente desde la mesa de dibujo a las herramientas de fabricación [...] Sin embargo, CAD se siguió utilizando principalmente para realizar dibujos en 2D” (Barnes & Davies, *BIM in Principle and in Practice*, 2015).

Una vez el desarrollo de herramientas digitales para la construcción inició su producción y proliferación a nivel mundial se presentaron nuevos problemas. El principal de ellos fue, e incluso hoy en día persiste, la comunicación y transferencia de información entre las diferentes partes que conforman los grupos técnicos para el desarrollo de proyectos, pues parte de la naturaleza de las actividades de la ingeniería civil y la arquitectura es la conformación de equipos interdisciplinarios que trabajan de manera individual para la obtención de un resultado común. En un intento por

solucionar esto considerando a Chuck Eastman como el padre del BIM al ser el primero en difundir el concepto BDS (*“Building Description System”*), como un sinónimo de BIM (Villa Quiroz, 2017), Se empezó el desarrollo de la tecnología BIM (Building Information Modeling), la cual ha empezado a remplazar los diseños asistidos por computador, por sus siglas en inglés CAD.

El término se hizo popular y se comenzó a utilizar cuando Autodesk compra la compañía texana *Revit Technology Corporation* en el año 2002 (Xu, 2017).

Así, actualmente la tecnología BIM es uno de los temas principales de desarrollo e investigación a nivel global (Eastman et al., 2008).

Desde entonces, han ido apareciendo más plataformas tecnológicas para distintos objetivos y conveniencias del usuario. La transición de CAD a BIM no es un proceso natural sino un cambio de paradigma del dibujo al modelado y se evidencia además que el concepto de BIM se formuló y se entendió hace 15 años, antes de que el hardware y software permitieran implementarlo (Sacks et al., 2018).

En la **figura 2** se resume la historia de BIM donde se destacan los eventos más relevantes del mismo.

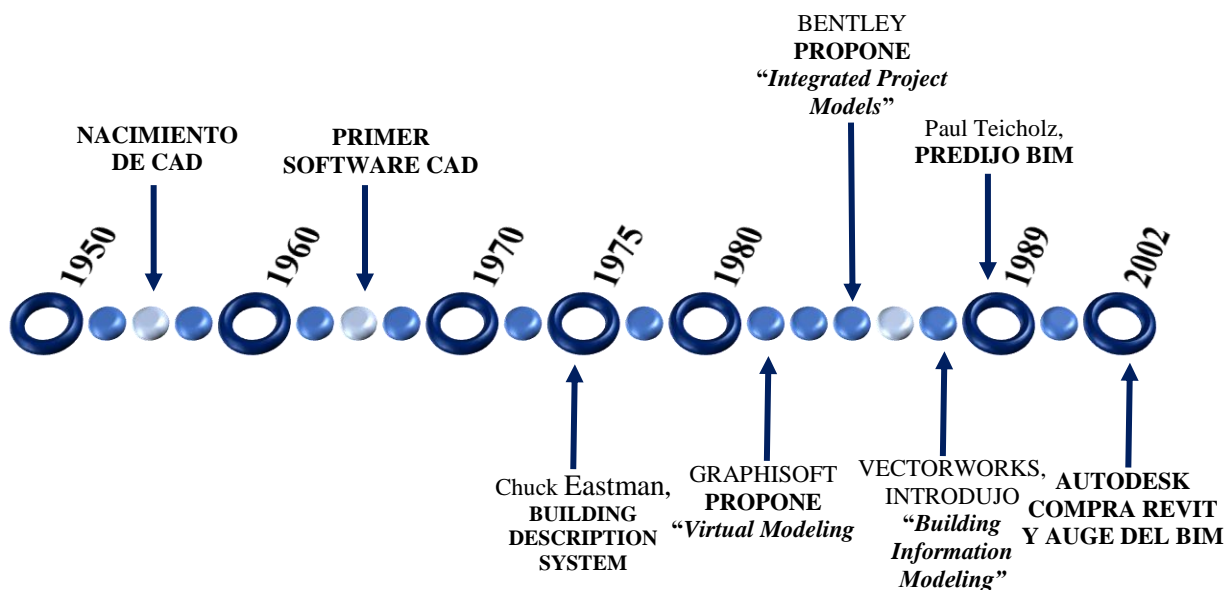


Figura 2. Línea del tiempo de la historia del BIM Fuente: (Autoría propia)

PRINCIPALES DESARROLLOS DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL Y HERRAMIENTAS A ESTUDIAR.

En los últimos años, se generó un proceso claramente definido en el cual el hombre es la interfaz y el canal de comunicación entre el mundo digital y el mundo real, ya que las ideas creadas en el mundo digital se logran materializar mediante el involucramiento del hombre de la siguiente manera:



Figura 3. Flujo de procesos (actividades de construcción actual)
Fuente: (Creación propia)

Aun así, la tecnología sigue avanzando y un nuevo término ha emergido recientemente. Este ya está cambiando la manera de materialización de las ideas digitales, además, está cambiando la manera de construir, hablamos de la internet de las cosas.

Como se muestra a continuación, en la internet de las cosas, a partir de la instalación de sensores, controladores y demás dispositivos electrónicos se puede generar una interfaz libre de humanos (Turk, 2019), la cual se conoce como Construcción 4.0.



Figura 4. Flujo de procesos (actividades mediante el internet de las cosas)
Fuente: (creación propia)

Estas transformaciones de la industria no solo traen un cambio tecnológico, sino que también, económico y cultural, dado que generan una fuerte reactivación socioeconómica. Dentro de estas se reconocen principalmente 4. La Cuarta Revolución Industrial, 4IR, o Industria 4.0 conceptualiza

el rápido cambio de la tecnología, las industrias y los patrones y procesos sociales en el siglo XXI debido a la creciente interconectividad y la automatización inteligente. Acuñado popularmente por el fundador y presidente ejecutivo del Foro Económico Mundial, Klaus Schwab, afirma que los cambios observados son algo más que simples mejoras de la eficiencia, sino que expresan un cambio significativo en el capitalismo industrial

Industria 1.0

La primera revolución industrial acontece hacia 1784 y viene de la mano de la introducción de las maquinarias de vapor en las fábricas de producción. Esto permitió sustituir la energía animal y humana por maquinarias más productivas. En consecuencia, de este desarrollo se crearon los primeros grandes centros industriales (Sullivan, 2019)

Industria 2.0 (Tecnológica 2.0)

La segunda revolución a finales del siglo XIX (1870), está marcada por la aparición de nuevas formas de energía, como el petróleo y la electricidad. Además, gracias al desarrollo tecnológico, el ferrocarril fue el transporte destacado de la época (Sullivan, 2019). La producción en masa fue la gran consecuencia de esta revolución tecnológica.

Industria 3.0 (Digital 3.0):

Comenzó en la década de 1950, vio la aparición de los ordenadores y la tecnología digital (Pico, 2022). Está relacionada con el concepto de “Sociedad de la Información”. Dado que se asienta en tecnologías de información y comunicación. Esta revolución surgió principalmente a causa de la aparición de Internet. También es importante destacar el desarrollo de energías renovables, tales como la electricidad ecológica (Sullivan, 2019). (Pico, 2022) en su artículo también comenta que esto condujo a la creciente automatización de la manufactura y a la interrupción de industrias como la banca, la energía y las comunicaciones. Hacia 1970 aproximadamente se empiezan a dar cambios en las tecnologías de información y en la electrónica, que permiten una automatización de la producción. (Sánchez, 2022)

Industria 4.0 (Transformación Digital)

La última revolución industrial se asocia a la combinación sinérgica de las tecnologías operativas (TO) y las tecnologías de la información (TI). En consecuencia, a esto se han generado

sistemas y máquinas inteligentes, interconectadas y autónomas (Sullivan, 2019). La transformación digital ha activado la combinación del mundo físico con el digital.

La figura 5. Resume las principales innovaciones que marcan los 4 grandes hitos del desarrollo industrial a lo largo de la historia.

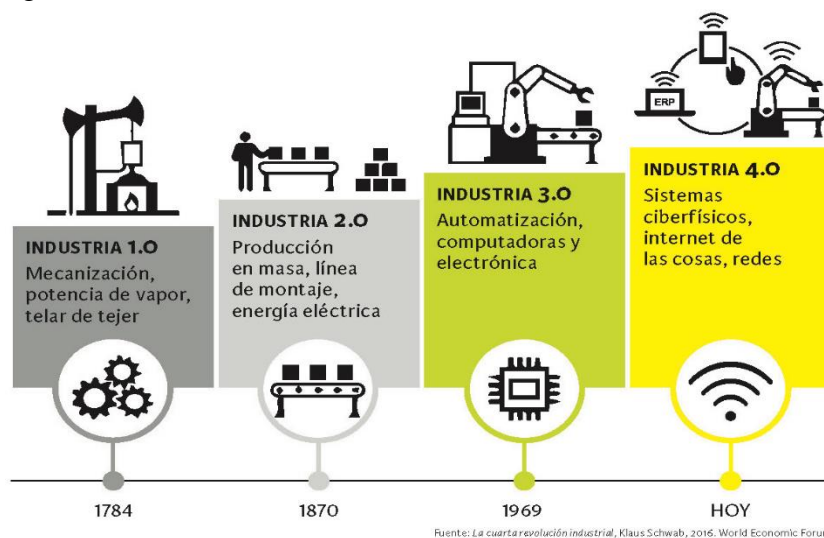


Figura 5. Cronología de las revoluciones industriales
Fuente (Pico, 2022)

Algunas de las tecnologías clave asociadas con la Industria 4.0 incluyen:

Internet de las cosas (IoT): Conectividad de dispositivos y sensores para recopilar y compartir datos en tiempo real.

Big Data y Analytics: Utilización de grandes volúmenes de datos generados para obtener insights, optimizar procesos y tomar decisiones informadas.

Inteligencia Artificial (IA): Aplicación de algoritmos y sistemas inteligentes para realizar tareas que normalmente requieren la inteligencia humana.

Computación en la nube: Almacenamiento y procesamiento de datos en servidores remotos, permitiendo el acceso y la colaboración desde cualquier ubicación.

Impresión 3D: Creación de objetos tridimensionales mediante la superposición de capas de material, permitiendo la personalización y eficiencia en la fabricación.

Robótica avanzada: Utilización de robots más sofisticados y flexibles en procesos de fabricación y logística.

Realidad aumentada (AR) y virtual (VR): Uso de tecnologías que superponen información digital en el entorno físico o crean entornos virtuales para mejorar la productividad y la capacitación.

Ciberseguridad: Se utilizan sofisticados sistemas de gestión de la identidad y del acceso a las máquinas para proporcionar comunicaciones seguras y fiables.

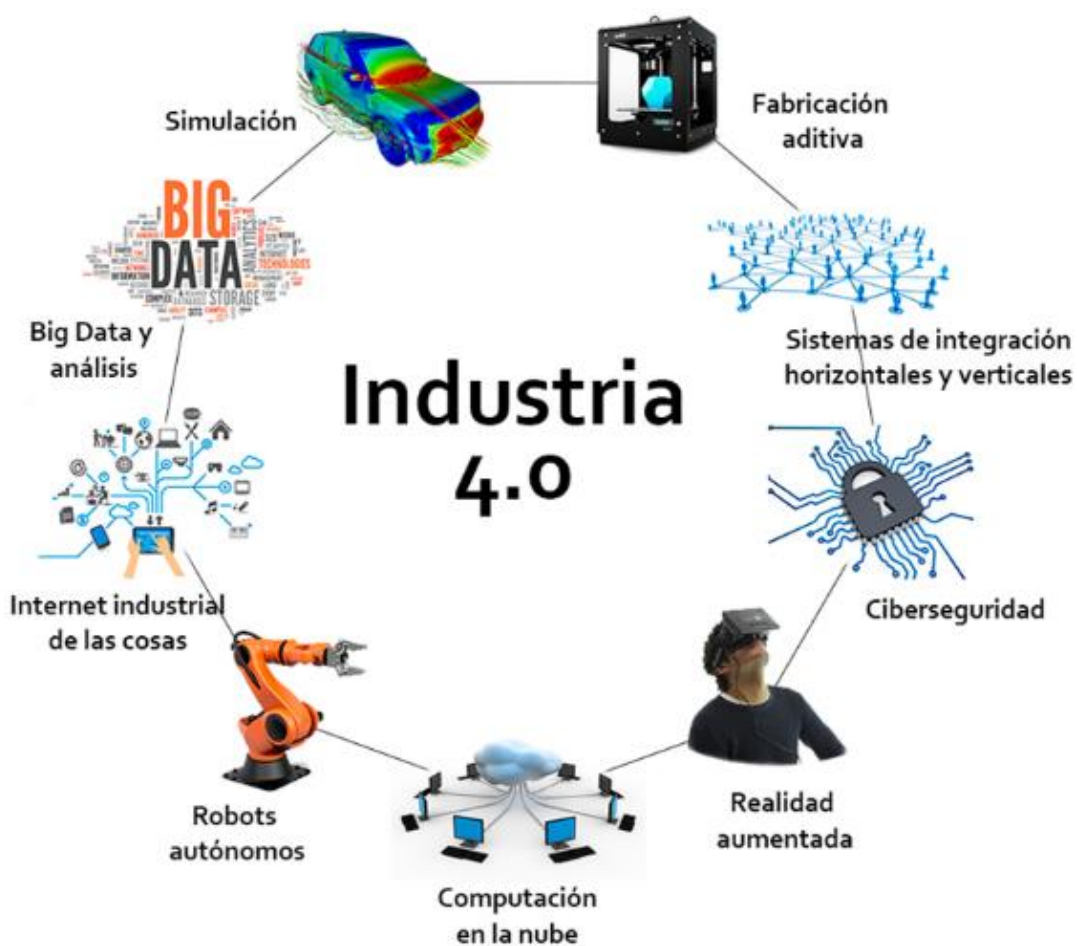


Figura 6. Tecnologías clave de la industria 4.0

Fuente: (otao, 2023)

El objetivo esencial de la industria 4.0 es hacer que la fabricación y las industrias relacionadas como la logística, sean más rápidas, eficientes y centradas en el cliente, al mismo tiempo que van más allá de la automatización y optimización (Silva & Alejandra, 2023)

Estado del Arte de la Tecnología Digital en la Construcción

Numerosos desafíos en la concepción de proyectos de construcción surgen debido a que, en la actualidad, la mayoría de ellos se desarrolla en entornos bidimensionales, con registros fotográficos convencionales, planeaciones de obra independientes a los modelos digitales y presentaciones gráficas e informes tradicionales. Recientemente, se han introducido diversos sistemas de comunicación que mejoran significativamente la coordinación, planificación y supervisión de la ejecución de proyectos. Un ejemplo de estos avances es la tecnología BIM, que ha demostrado una mejora notable en la comunicación entre diseñadores, constructores y clientes. No obstante, esto representa solo el primer paso en un conjunto de avances que se están experimentando y que están por venir en los próximos años. Así como se explorarán tecnologías basadas en inteligencia artificial para continuar avanzando en este ámbito.

Al analizar los desarrollos de la tecnología digital, más allá de su función y resultados, se encuentra un factor común fundamental: son herramientas para el análisis de información de proyectos de construcción; ya sea esta información existente, actual o faltante. Principalmente, se debe entender cómo se obtiene y qué tipo de información existe en el sector de la construcción. Actualmente, se pueden mencionar tres tipos principales: información mejorada, geoespacial y basada en imágenes. El primer tipo de información se trata de correos, llamadas, documentos; el segundo tipo se trata de información geográfica, GPS, escaneos en nube de puntos, etc.; en el tercer tipo se encuentran las fotografías y videos (Pour Rahimian et al., 2020).

Así, también Pour Rahimian indica que, han sido producidas un sinnúmero de herramientas digitales que prometen controlar y monitorear los procesos de los proyectos de construcción. Sin embargo, la mayoría de los gerentes continúan controlando los proyectos de la manera tradicional, utilizando planos 2D elaborados en AutoCAD, reportes de Excel, planeaciones de obra tradicionales, registros fotográficos, entre otras muchas herramientas que funcionan todas de manera individual.

Lo anterior hace que el manejo de la información sea complejo a pesar del desarrollo tecnológico. Teniendo en cuenta esto y con el fin de solucionar los inconvenientes de análisis y gestión de la información, existen herramientas digitales como BIM, tecnologías web, inteligencia artificial, realidad virtual y aumentada, computación en la nube y tecnologías de seguimiento (Pour

Rahimian et al., 2020), las cuales permiten realizar una comparación de modelos digitales y de construcción en tiempo real.

TRANSFORMACIÓN DE PROCESOS

La transformación digital ha generado significativos cambios en todos los ámbitos de la sociedad. En el sector de la Construcción tanto de Ingeniería como de Arquitectura, las mejoras tecnológicas son clave para garantizar la viabilidad de las empresas, las cuales deben ajustarse para cumplir con las crecientes demandas de los consumidores. Las soluciones tecnológicas emergentes en el ámbito de la Construcción Civil se emplean con el propósito de optimizar la gestión, ofreciendo el respaldo necesario para la creación de nuevas soluciones.

Estas herramientas abarcan desde plataformas de comunicación hasta análisis de mercado, dispositivos destinados a la seguridad de los trabajadores e incluso maquinaria que optimiza los procesos constructivos, confiriendo a las empresas una mayor competitividad. En última instancia, este progreso tecnológico representa la evolución natural de la industria, que a lo largo de los siglos ha experimentado transformaciones significativas gracias a innovaciones tecnológicas que han impactado positivamente en los procesos de construcción. Algunas áreas clave en donde se produce esta transformación son las siguientes:

BIM (Modelado de Información de Construcción): El uso de modelos 3D inteligentes para diseñar, planificar y gestionar proyectos de construcción está ganando terreno. BIM permite una colaboración más efectiva entre los diversos actores del proyecto, mejora la eficiencia en el diseño y la construcción, y reduce los errores.

IoT (Internet de las Cosas): Sensores y dispositivos conectados se están utilizando para recopilar datos en tiempo real sobre el rendimiento de los equipos, la seguridad del sitio, el uso de recursos y más. Esto permite una toma de decisiones más informada y la optimización de procesos.

Realidad Aumentada (AR) y Realidad Virtual (VR): Estas tecnologías están siendo utilizadas para la visualización de proyectos, capacitación de trabajadores, y diseño y planificación más efectivos. La AR puede superponer información digital en el entorno físico, mientras que la VR ofrece experiencias inmersivas que facilitan la comprensión de los diseños y la detección de posibles problemas.

Drones: Se utilizan para realizar inspecciones de sitios de construcción, levantamientos topográficos y monitoreo del progreso del proyecto. Los drones proporcionan datos precisos de manera rápida y segura, mejorando la eficiencia y la seguridad en el sitio.

Impresión 3D: Esta tecnología está siendo explorada para la construcción de estructuras mediante la deposición capa por capa de materiales de construcción. La impresión 3D tiene el potencial de reducir los costos y los plazos de construcción, así como de permitir diseños arquitectónicos más complejos.

Gestión de Proyectos con Software: Herramientas y plataformas de gestión de proyectos en la nube facilitan la colaboración entre equipos, permiten un seguimiento más preciso del progreso y ayudan a gestionar recursos y presupuestos de manera más eficiente.

Sostenibilidad y Construcción Verde: La conciencia ambiental está impulsando prácticas de construcción más sostenibles. Esto incluye el uso de materiales ecológicos, diseño energéticamente eficiente y la implementación de tecnologías para reducir el impacto ambiental de los proyectos de construcción.

Inteligencia Artificial (IA) y Análisis de Datos: La IA se está utilizando para analizar grandes conjuntos de datos, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones. Esto incluye la optimización de la programación del proyecto, la gestión de riesgos y la identificación de patrones para mejorar la eficiencia.

La transformación de procesos en la construcción civil está siendo impulsada por la necesidad de mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la seguridad, y la adopción de estas tecnologías está cambiando la forma en que se diseñan, planifican y ejecutan los proyectos de construcción.

A continuación, se presentan algunos de los programas y metodología que se utilizan en el ámbito de la Ingeniería y Arquitectura en El Salvador.

1. AutoDesk, AutoCAD.

Es un software de diseño asistido por computadora. Desarrollado y comercializado por Autodesk. CAD se refiere a la utilización de software para crear dibujos técnicos y modelos tridimensionales de manera digital. AutoCAD es una de las herramientas CAD más ampliamente utilizadas, gracias a la posibilidad de visualizar los diseños en 2D y 3D, AutoCAD es uno de los programas de diseño

digital líderes del mercado en la industria, especialmente en arquitectura, ingeniería y diseño. (Autodesk, 2023)

Características Generales

La elección de la interfaz a utilizar dependerá de las necesidades particulares de la aplicación y de la experiencia en programación del usuario. Según Autodesk, AutoCAD se orienta a cualquier persona con interés creativo que requiera una amplia gama de funciones para el dibujo digital, ya sea con propósitos profesionales o personales. En el ámbito profesional, AutoCAD se emplea principalmente en la industria de la construcción por contratistas, arquitectos e ingenieros que buscan un software confiable para dibujo en 2D o 3D. Para satisfacer las demandas específicas de cada sector, como Arquitectura, Mecánica, Electricidad, Mapa 3D, MEP para equipos técnicos de construcción, Plant3D y Raster Design, AutoCAD proporciona conjuntos de herramientas especializados. En consecuencia, AutoCAD se utiliza en una variedad de aplicaciones, como diseño eléctrico, ingeniería de plantas, diseño mecánico, cartografía y arquitectura.

En el software, se identifican cuatro tipos de modelado 3D. El primer enfoque es el modelado de estructura alámbrica, que crea una estructura tridimensional utilizada para establecer referencias geométricas al inicio del diseño. El modelado de sólidos se emplea para definir parámetros de masa y funciones de sección. El modelado de superficie proporciona un control preciso sobre las curvas para manipular detalladamente las superficies. Finalmente, el modelado de mallas permite realizar funciones como plegado, suavizado y escultura de formas y objetos 3D de manera libre.

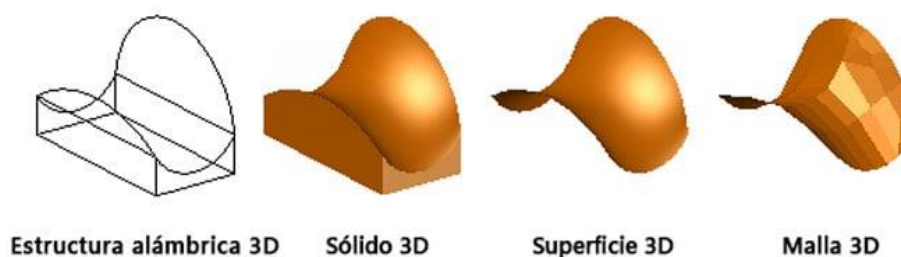


Figura 7. Tipos de modelados 3D en AutoCAD
Fuente (Marchante, 2022)

Funciones de AutoCAD.

- *Dibujo 2D y 3D:* Permite la creación de dibujos en dos dimensiones (2D) y modelos tridimensionales (3D).
- *Precisión:* AutoCAD facilita la creación de diseños precisos mediante el uso de coordenadas y medidas exactas.
- *Edición y Modificación:* Permite realizar modificaciones en los diseños de manera eficiente, como mover, rotar o escalar elementos.
- *Anotaciones y Texto:* Permite agregar texto y anotaciones a los diseños para proporcionar información adicional.
- *Capas:* Los diseños pueden organizarse en capas, lo que facilita la gestión y la visualización de elementos específicos.
- *Impresión y Exportación:* Permite imprimir diseños y exportarlos en diferentes formatos.
- *Personalización:* Los usuarios pueden personalizar la interfaz y utilizar comandos personalizados para adaptar el software a sus necesidades específicas. (Autodesk, 2023)

¿Para qué sirve AutoCAD?

Ítalo Q, en su artículo nos dice que con este software es muy sencillo crear diseños de piezas y estructuras.

“Como profesional de arquitectura, u otras profesiones relacionadas con el diseño, se puede trabajar en proyectos de diseño de interiores, estructuras urbanas y comerciales, áreas de ingeniería, industrial y mecánica. Por otro lado, manejar una experiencia de media a avanzada en el manejo de AutoCAD abrirá muchas puertas en el campo laboral. Ya que el programa permite especializarte en diferentes tipos y técnicas de diseño.” (Quispe, 2023)

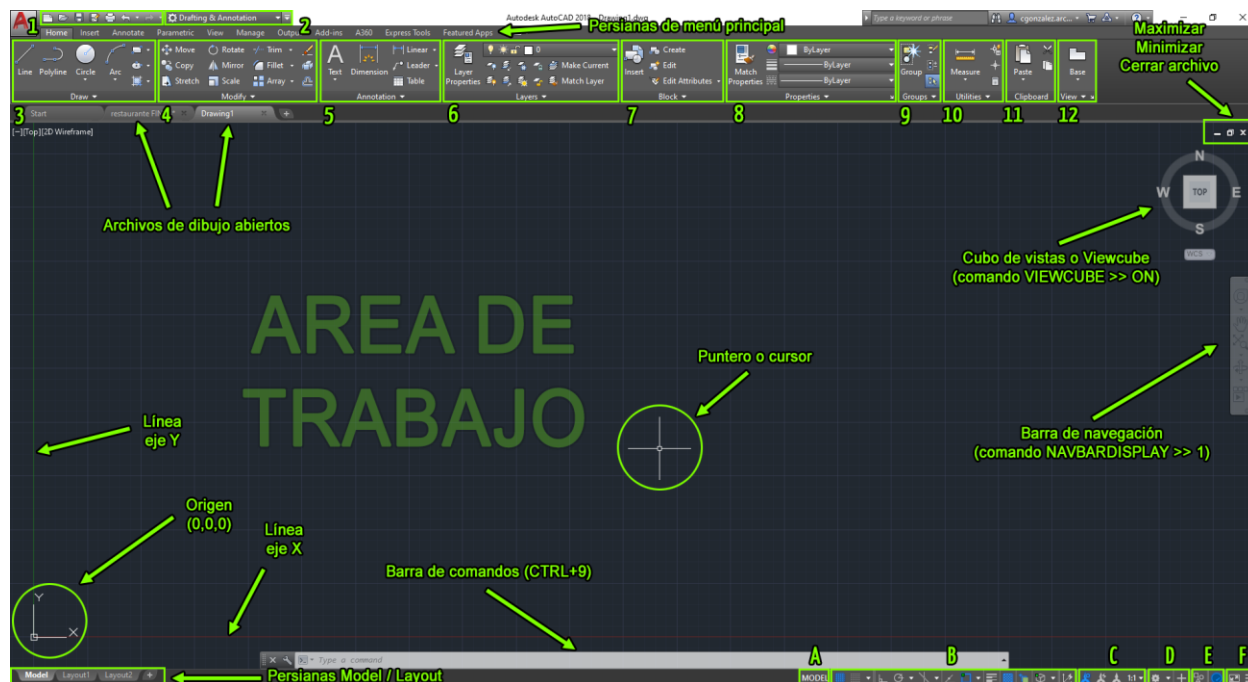


Figura 8. Programa AutoCAD

Fuente: (Fácil, 2020)

Recomendaciones para utilizar AutoCAD de manera más efectiva:

Dominar los Comandos Básicos: Aprender y practicar comandos básicos como dibujo, edición y modificación de objetos.

Atajos de Teclado: Familiarizarse con los atajos de teclado para agilizar el flujo de trabajo.

Capas y Estilos de Texto: Entender el sistema de capas y utiliza estilos de texto para organizar y presentar los dibujos de manera clara.



Bloques y Referencias Externas: Utilizar bloques para reutilizar elementos y referencias externas para mantener consistencia en múltiples dibujos.

Personalización: Ajustar la interfaz de usuario según las necesidades del usuario y guardar plantillas para proyectos recurrentes.

2. AutoDesk, Revit.

Es un software de modelado de información de construcción, desarrollado por Autodesk. Crea diseños detallados y completos aptos para BIM. Revit se basa en BIM la cual se refiere a un enfoque integral para el diseño, construcción y gestión de edificaciones o infraestructuras, que utiliza modelos tridimensionales para representar información sobre el diseño, la construcción y el mantenimiento de un proyecto.

Revit se utiliza comúnmente en arquitectura, ingeniería estructural, ingeniería MEP (mecánica, eléctrica y fontanería), y diseño de construcción. La plataforma permite a los profesionales de la industria crear modelos precisos y detallados que contienen información sobre la geometría del edificio, así como datos relacionados con los materiales, el rendimiento, los costos y otros aspectos importantes del proyecto.

Entre las características clave de Revit se incluyen la capacidad de trabajar en un entorno colaborativo, lo que facilita la colaboración entre diferentes disciplinas y equipos de proyecto. También proporciona herramientas para la generación de planos, programación y análisis energético, entre otras funcionalidades. Revit ha ganado popularidad en la industria de la construcción debido a su enfoque BIM, que permite una mayor coordinación y eficiencia en todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción.

Revit ofrece una amplia gama de funciones y herramientas diseñadas para facilitar el proceso de diseño, construcción y gestión de proyectos de construcción. Algunas de las funciones clave de Revit incluyen:

- *Modelado 3D BIM:* Revit permite crear modelos tridimensionales detallados de edificios o infraestructuras. Esto incluye paredes, puertas, ventanas, cubiertas, sistemas MEP (mecánicos, eléctricos y de fontanería), y otros elementos.
- *Colaboración en tiempo real:* Facilita la colaboración entre equipos de diseño y construcción al permitir que múltiples usuarios trabajen en el mismo modelo al mismo tiempo.

- *Generación de planos:* Revit genera automáticamente planos detallados a partir del modelo 3D, lo que garantiza que los cambios realizados en un lugar se reflejen automáticamente en todas las vistas y documentos relacionados.
- *Análisis energético:* Proporciona herramientas para evaluar el rendimiento energético del edificio y realizar análisis de sostenibilidad.
- *Programación y simulación:* Permite la programación y simulación del proceso de construcción, lo que ayuda a anticipar posibles problemas y a optimizar la secuencia de construcción.
- *Base de datos integrada:* Revit utiliza una base de datos centralizada que almacena toda la información del proyecto, incluyendo propiedades de los elementos, materiales, y datos de rendimiento.
- *Etiquetas y anotaciones:* Permite agregar información detallada y anotaciones a los elementos del modelo, facilitando la comunicación de información crucial.
- *Familias y componentes personalizables:* Revit utiliza familias, que son grupos de elementos paramétricos, para facilitar la creación y personalización de componentes específicos del proyecto.
- *Herramientas de renderizado:* Proporciona capacidades de renderizado para generar imágenes realistas del proyecto, lo que ayuda en la presentación visual y la comunicación del diseño.
- *Base de datos de materiales:* Permite asignar propiedades físicas y visuales a los materiales utilizados en el modelo, facilitando el análisis de costos y la toma de decisiones sobre materiales. (Revit, 2023)

Estas funciones hacen que Revit sea una herramienta integral para profesionales en arquitectura, ingeniería y construcción, ayudándoles a gestionar y ejecutar proyectos de manera eficiente y colaborativa.

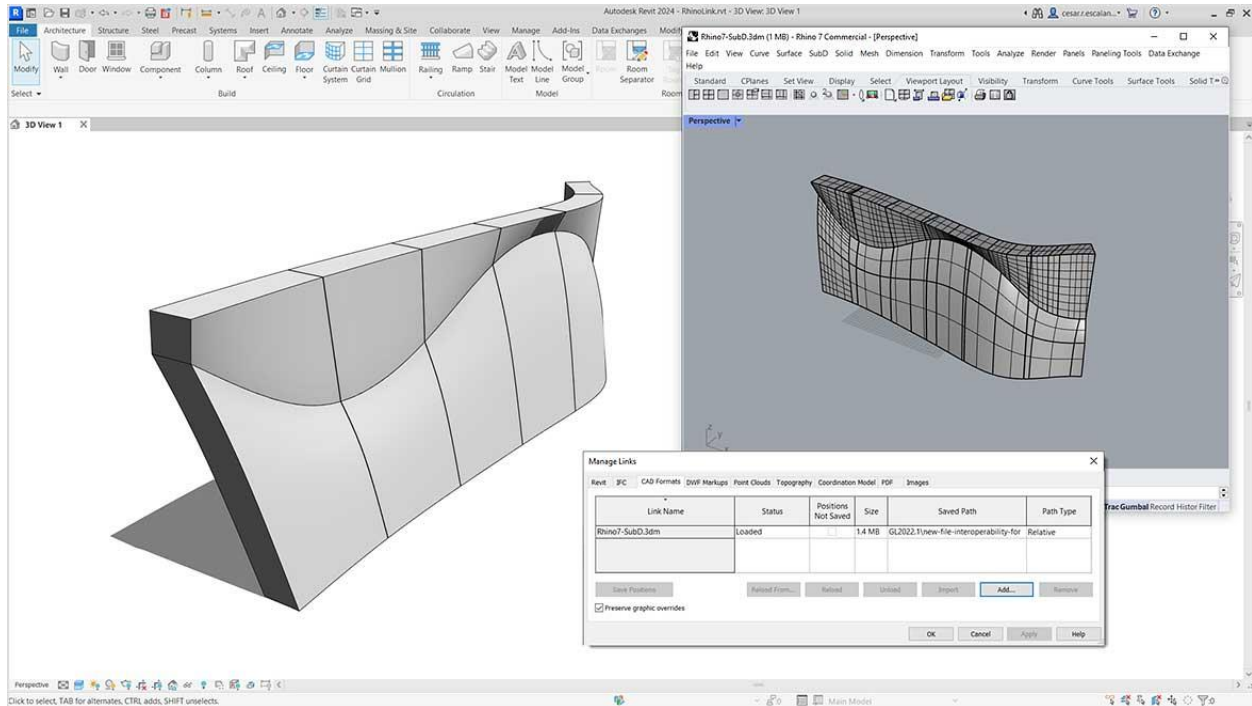


Figura 9. Programa AutoDesk, Revit
Fuente: (Revit, 2023)

Características de Revit Architecture:

Código abierto: En la actualidad, los programas de código abierto están experimentando un notable crecimiento, lo que implica la posibilidad de acceder al software, modificarlo según las necesidades del profesional y adaptarlo de manera personalizada. Además, se puede emplear la herramienta Dynamo en conjunto con Revit, permitiendo la creación de formas geométricas más complejas y mejorando el proceso de trabajo en Revit de manera significativa.

Importaciones: Revit Architecture facilita la importación de archivos utilizando el formato IFC, lo que posibilita una colaboración más estrecha entre todos los integrantes del equipo de proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida. Esto permite una interoperabilidad efectiva con otros softwares BIM, mejorando la fluidez en el intercambio de información y fomentando una colaboración más eficiente entre los diversos participantes en el proyecto.

Materiales más realistas: Revit Architecture proporciona a sus usuarios materiales y diseños de apariencia realista, convirtiéndose en una opción altamente atractiva para aquellos que buscan realizar presentaciones y proyectos visuales. Este programa ofrece diseños más atractivos y detallados, incorporando sombras y objetos más nítidos, lo que contribuye a una representación visual más impactante y efectiva.

Uso de Fases: Mediante Revit Architecture, se puede organizar de manera efectiva las distintas etapas de un proyecto, resultando crucial tanto para su presentación como para su mantenimiento. Es factible detallar el desarrollo de la cimentación, la estructuración, las instalaciones, y otros aspectos relevantes. Este enfoque resulta esencial para preservar la coherencia del proyecto y permite establecer una secuencia temporal entre las fases, adaptándose a la experiencia del arquitecto o del usuario involucrado.

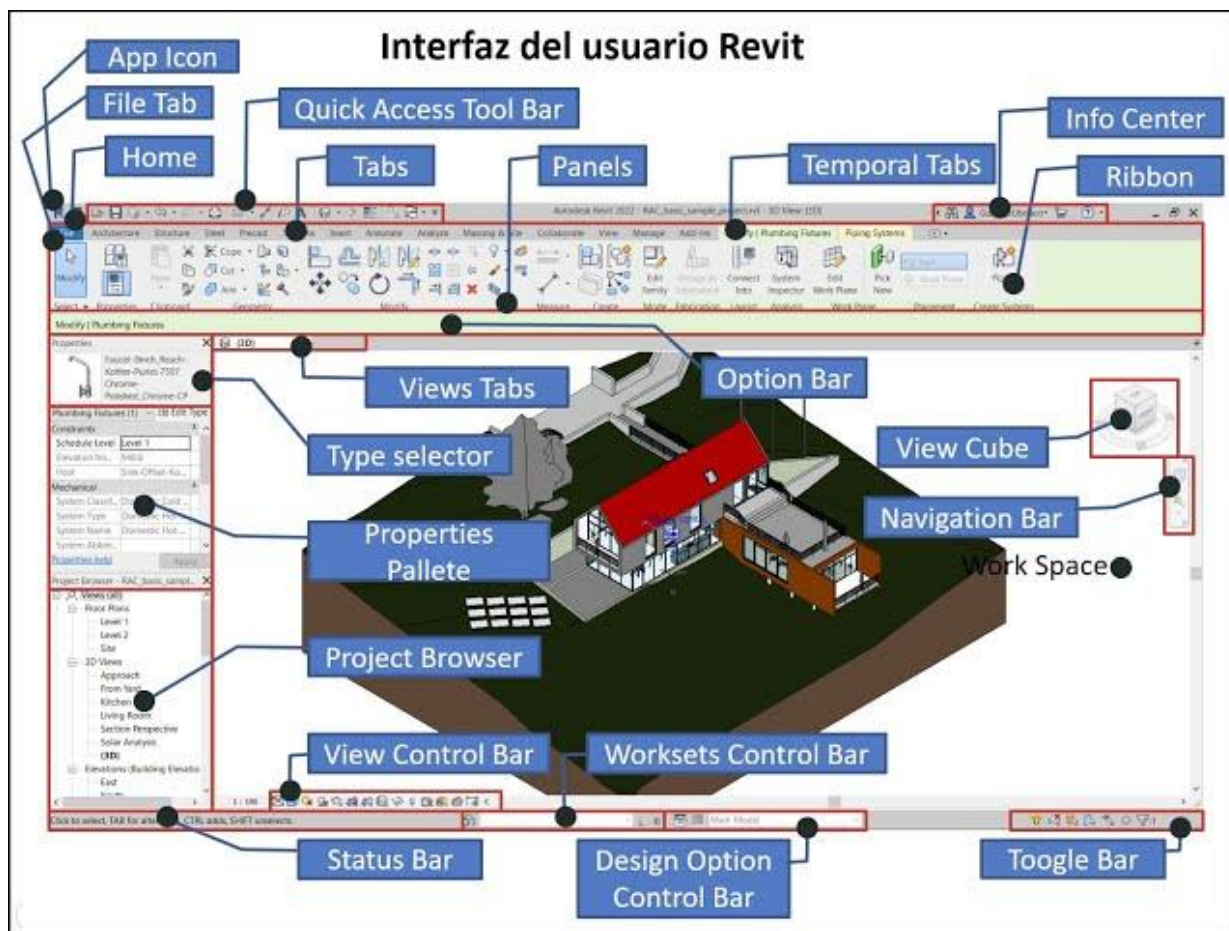


Figura 10. Interfaz de usuario
Fuente: (Mensos, 2021)

¿Qué se puede hacer con Revit Architecture?

Análisis: Optimiza el rendimiento del edificio en la fase inicial de diseño, realiza estimaciones de costos y supervisa el desempeño durante la vida útil del proyecto y del edificio.

Coordinación multidisciplinaria: En la actualidad los programas con código abierto se encuentran en su auge, esto quiere decir que es posible utilizar el software y modificarlo según sea la conveniencia. Debido a que Revit es una plataforma de BIM multidisciplinaria, es posible compartir los datos del modelo con ingenieros y contratistas dentro de Revit, lo cual reduce las tareas de coordinación

Diseño y documentación: Coloca elementos inteligentes como paredes, puertas y ventanas. Revit genera los planos de planta, alzados, secciones, horarios, vistas en 3D y renderizaciones.

Visualización: Genera renderización fotorrealista. Crea documentación con vistas en corte y en 3D, y panorámicas estéreo para extender el diseño a la realidad virtual. (Bravo, 2021)

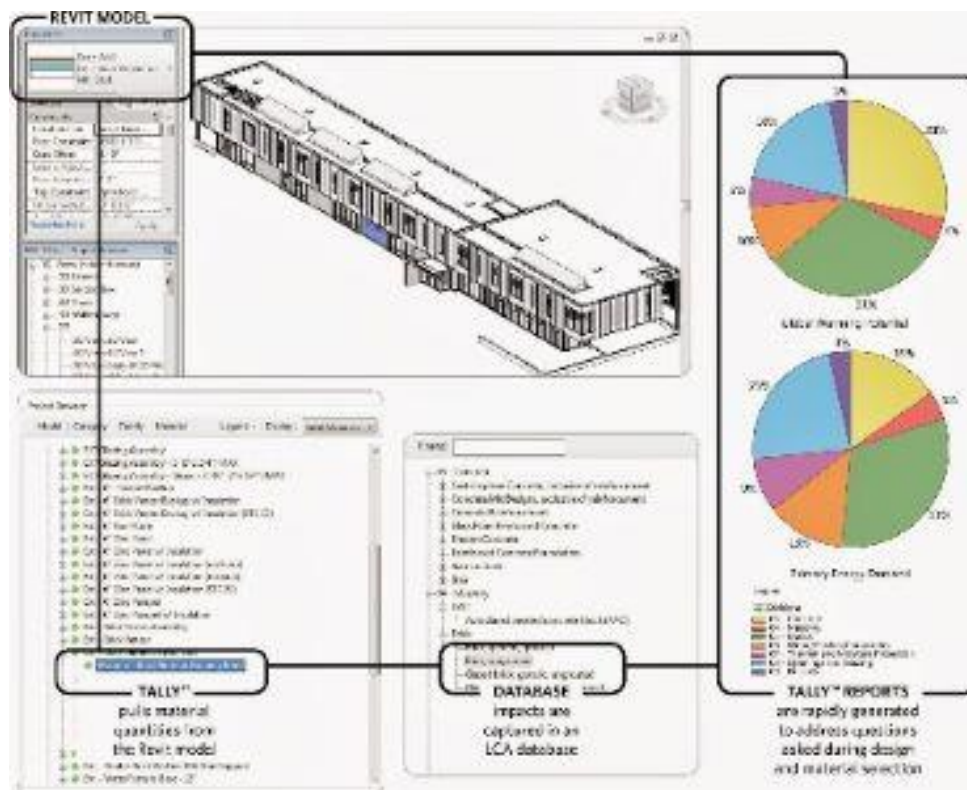


Figura 11. Análisis de Revit Architecture
Fuente (Bravo, 2021)

3. Dlubal RFEM 5.

El software de análisis de estructuras RFEM es la base de un sistema de software modular. El programa básico RFEM se usa para definir estructuras, materiales y cargas para sistemas estructurales planos y espaciales compuestos de placas, muros, láminas y barras. El programa también le permite crear estructuras mixtas, así como modelar elementos sólidos y de contacto. (dlubal, 2022)

RFEM 5 Se caracteriza para cálculos en ingeniería civil, mecánica, y de instalaciones. Es un Software intuitivo, eficiente y además Universal

RFEM calcula deformaciones, esfuerzos internos, tensiones, reacciones en los apoyos y tensiones de contacto con el suelo. Los módulos adicionales facilitan la entrada de datos mediante la creación automática de estructuras y uniones, o se pueden usar para realizar análisis y diseños adicionales según varias normas. El programa de análisis por elementos finitos RFEM permite de manera fácil y efectiva el modelado, el cálculo estático y dinámico, así como el dimensionamiento de modelos estructurales compuestos de elementos de barras, placas, muros, chapas plegadas, láminas y sólidos. (dlubal, 2022)

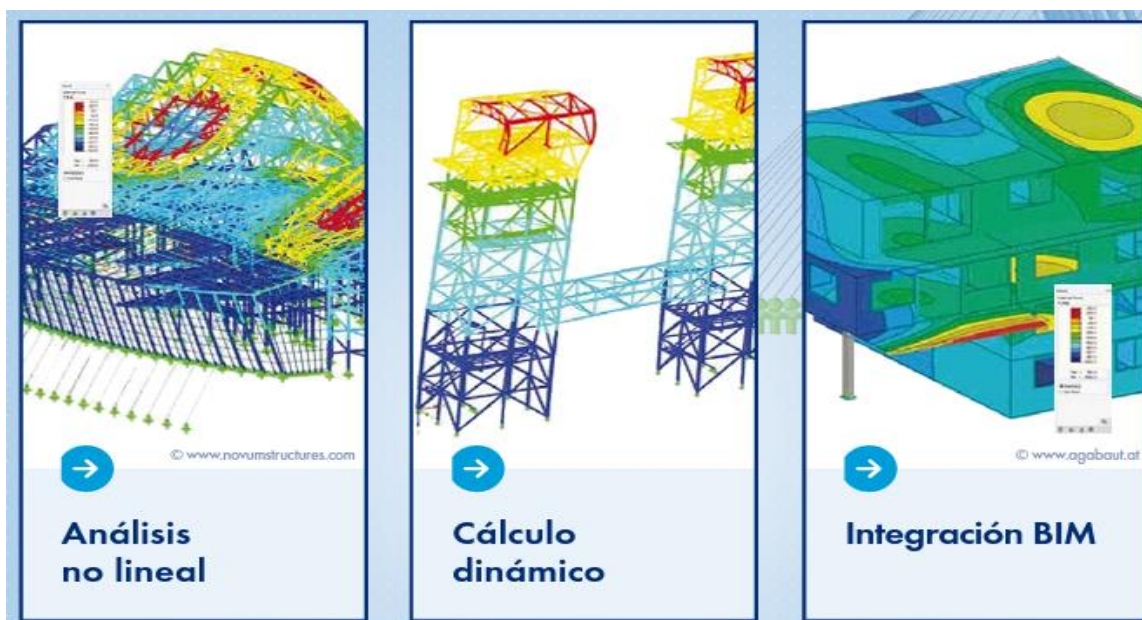


Figura 12. Programa Dlubal RFEM 5.

Fuente (dlubal, 2022)

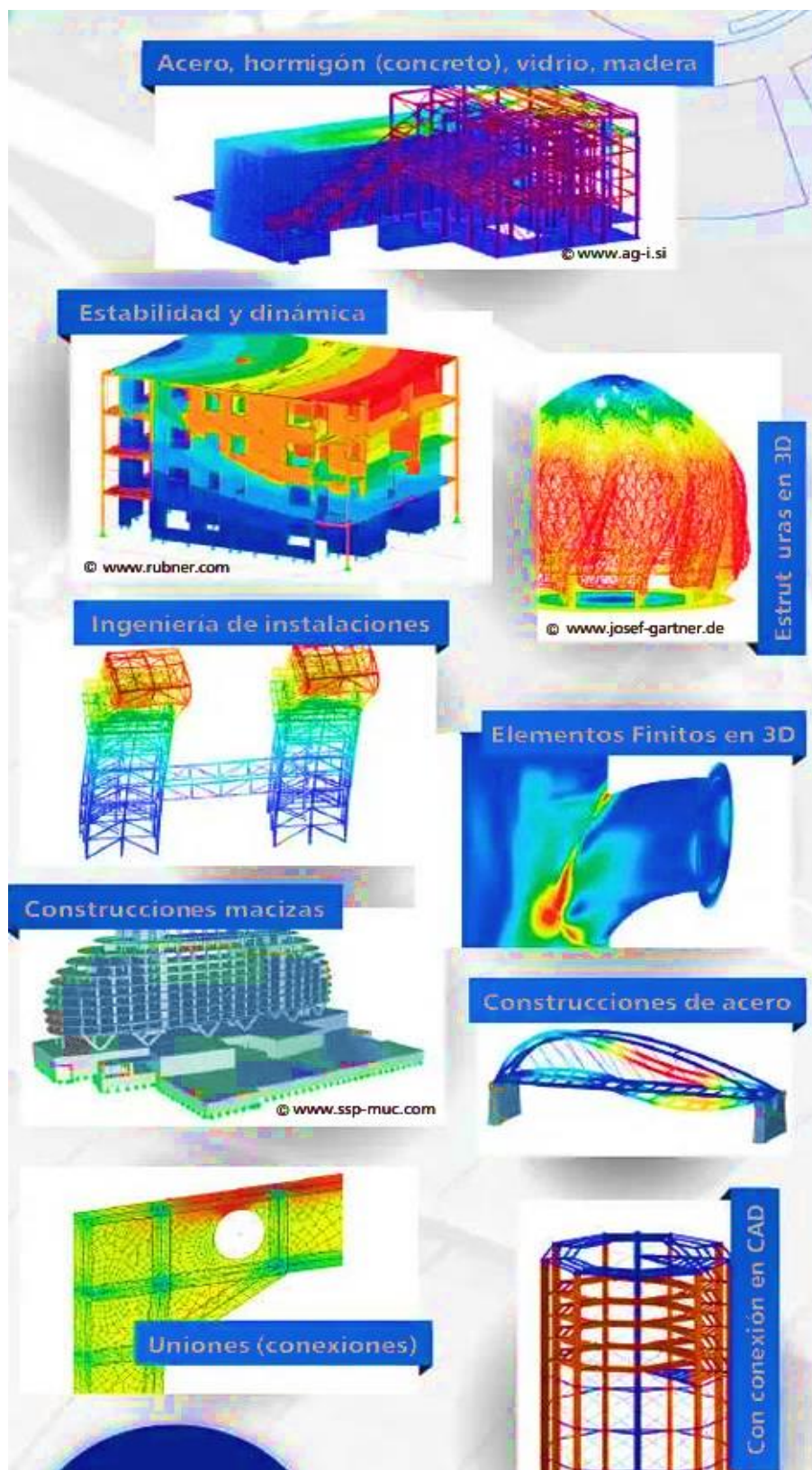
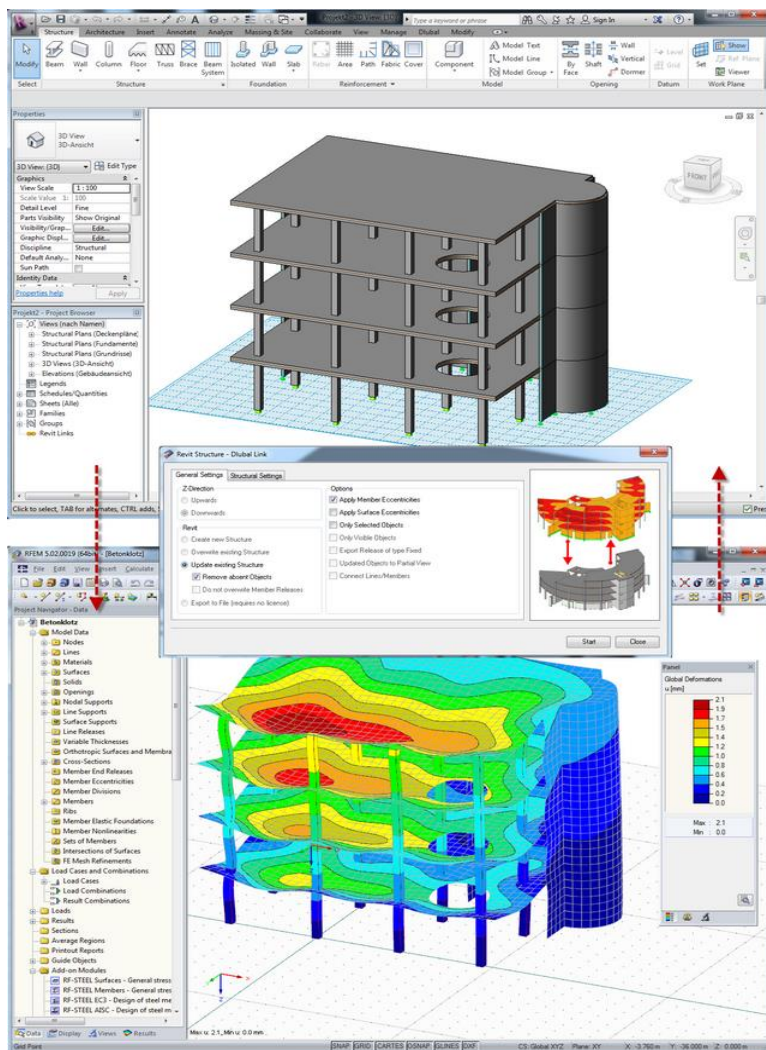


Figura 13. Software de análisis para planificación estructural
Fuente (Chara, 2022)

Modelado de información para la edificación (BIM)

(Chara, 2022) Nos dice en su artículo que este Software ofrece un trabajo en equipo eficiente para Ingenieros en la planificación del cálculo y planos de detalle, así como el trabajo en modelos 3D con información de materiales y geometría.

Debido a las numerosas interfaces disponibles en los programas de análisis estructural RFEM puede intercambiar datos fácil y cómodamente con software industrial común (por ejemplo, programas de CAD). RFEM no choca con otro software, al contrario. Hay interfaces para muchos otros programas y algunos de ellos se introducen a continuación. (Dlupal, 2022)



- Interfaces directas con AutoCAD, Autodesk Structural Detailing, Autodesk Revit Structure y Tekla Structures
- La inteligencia de los objetos se mantiene durante la transferencia de datos
- Fácil transferencia de las modificaciones del modelo
- Formatos de archivo normalizados para el intercambio de datos como DXF, IFC, DSTV, STP, SDNF, etc.
- Interfaces de intercambio de datos con programas de armaduras CAD de Glaser, Strakon y Nemetschek (Chara, 2022)

Figura 14. Software de análisis estructural Dlubal y BIM (Dlupal, 2022)

4. ETABS

ETABS (Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems) es un software de análisis y diseño estructural utilizado en ingeniería civil y estructural. Fue desarrollado por Computers and Structures, Inc. (CSI). ETABS es ampliamente utilizado por ingenieros estructurales y diseñadores para realizar análisis estáticos y dinámicos de edificaciones. (ETABS, 2023)

ETABS es una herramienta con alta capacidad para el análisis lineal y no lineal, opciones para la experimentación con una amplia gama de materiales, generación de gráficos muy limpios y explicativos, diseños esquemáticos y la generación de informes. Además de tener la capacidad de cubrir todos los pasos para el modelamiento, creación y generación de detalles de una estructura. Diseños CAD pueden convertirse directamente en modelos ETABS o usarse como plantillas a partir de los cuales se puede realizar el modelado. (ETABS, 2023)

Las principales características y capacidades de ETABS incluyen:

- *Análisis Estructural Tridimensional:* ETABS permite el modelado y análisis tridimensional de estructuras, teniendo en cuenta la interacción entre elementos tales como vigas, columnas, losas, muros, etc.
- *Análisis Estático y Dinámico:* Puede realizar análisis estáticos y dinámicos para evaluar el comportamiento de la estructura bajo diferentes tipos de cargas y condiciones, incluyendo cargas sísmicas.
- *Diseño de Elementos Estructurales:* ETABS puede utilizarse para diseñar elementos estructurales como vigas, columnas, losas, muros, y otros, cumpliendo con los códigos de diseño estructural aplicables.
- *Cargas Sísmicas:* Dada su importancia en regiones sísmicas, ETABS incluye herramientas específicas para evaluar y diseñar estructuras para resistir cargas sísmicas.
- *Integración con Otros Programas:* Puede integrarse con otros programas de la misma compañía, como SAP2000, para aprovechar las capacidades complementarias de estos softwares.
- *Interfaz Gráfica Intuitiva:* ETABS cuenta con una interfaz gráfica de usuario que facilita la creación y modificación de modelos estructurales.
- *Resultados y Reportes:* Proporciona herramientas para visualizar y analizar los resultados del análisis, así como generar informes detallados de diseño. (ETABS, 2023)

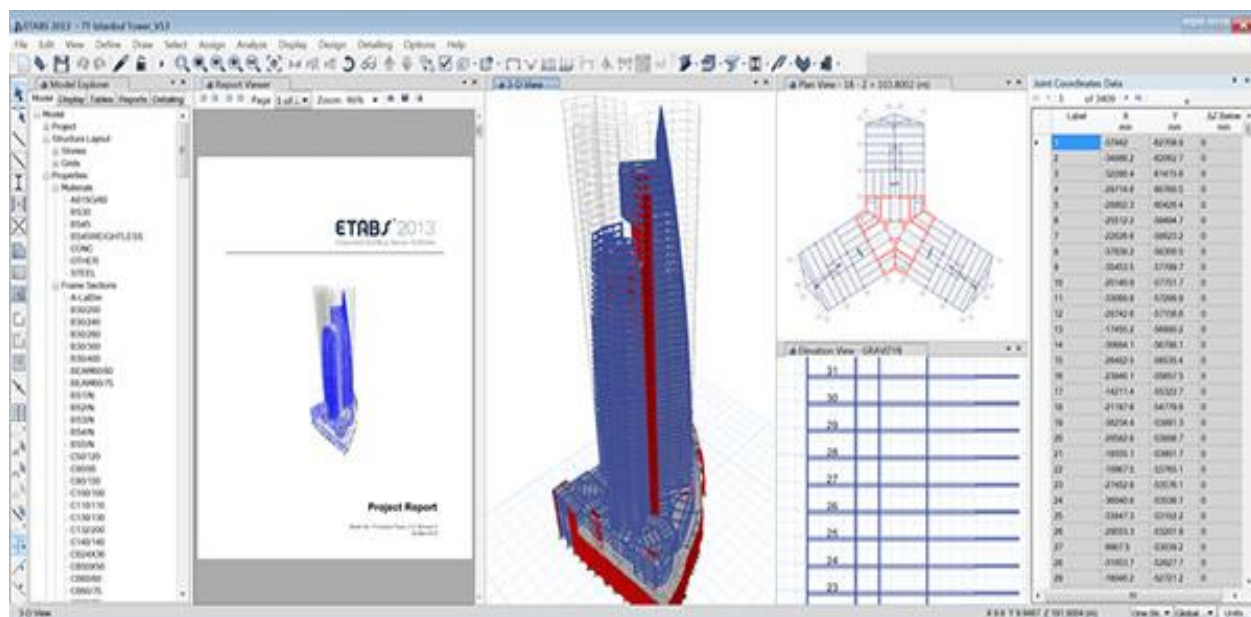


Figura 15. Programa ETABS

Fuente: (ETABS, 2023)

5. Metodología BIM (*Building Information Modeling*)

Es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes. (SMART, 2023)

Los usos BIM vienen a ser las posibles aplicaciones que se emplearan durante el proyecto a realizar en base a los requisitos de información y objetivos de la inversión. Se pueden ubicar en cada ciclo del proyecto (diseño, planificación, construcción y operación), donde tendremos diferentes usos específicos para cada una de estas etapas, permitiendo definir el propósito del proyecto a realizar, estos deben especificarse en el PEB o BEP.

En la actualidad, gracias al sistema BIM se está dejando de hablar de modelos tridimensionales para empezar a hablar de modelos en 7D los cuales integran múltiples factores como el costo del proyecto, el tiempo que se requiere para llevarlo a cabo, el componente ambiental del proyecto y finalmente un manual de instrucciones para garantizar la vida útil de la estructura (Sánchez, 2016)

Este ciclo puede dividirse en las 7 dimensiones BIM:

1D, La idea: Parte de una idea, con unas primeras estimaciones. Una vivienda, por ejemplo y define las condiciones iniciales, la localización; realiza las primeras estimaciones superficie, volumetría y costes; se establece el plan de ejecución, etcétera.

2D, El boceto: Prepara el software para modelar; proyecta las primeras líneas, etcétera.

3D, El modelo de información de la construcción: A partir de toda la información recopilada generas un modelo BIM (3D) que servirá como base para el resto del ciclo de vida del proyecto. Es más que una representación gráfica de la idea. El modelo BIM no solo es algo visual, sino que incorpora toda la información que necesitará para las siguientes fases BIM.

4D, El tiempo: planificación y gestión de la construcción, visualización de horarios y toma

de decisiones acertadas basadas en múltiples fuentes de información precisa en tiempo real

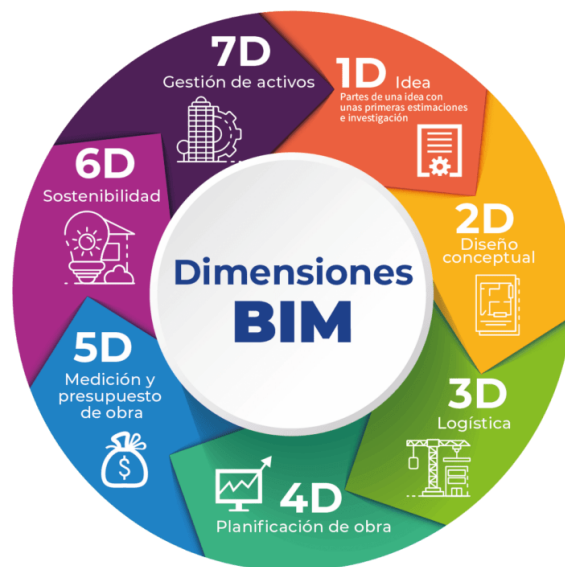
5D, El coste: Se trata del control de costes y estimación de gastos del proyecto. El principal objetivo de esta dimensión es mejorar la rentabilidad del proyecto en diferentes enfoques.

6D, La simulación o sostenibilidad: En ocasiones llamada Green BIM o BIM verde, consiste en simular las posibles alternativas del proyecto para finalmente llegar a la alternativa óptima. Y todo ello antes de colocar el primer ladrillo.

7D, El manual de instrucciones (la gestión del activo): Se trata del manual que hay que seguir durante la vida del proyecto BIM, una vez construido, para el uso y mantenimiento del mismo inspecciones, reparaciones, mantenimientos, etcétera. (Sánchez, 2016)

Durante todo el ciclo de vida del proyecto, desde la idea hasta su derribo y reciclaje, se produce un proceso continuo de retroalimentación. Es decir, el modelo BIM se va modificando continuamente evoluciona, de tal modo que en cualquier momento realidad y modelo son idénticos.

Figura 16. Ciclo de vida de un modelo BIM
fuente (Ingeniería, 2023)



Partiendo de lo anterior, se presentan los diferentes niveles que representan la cantidad y el tipo de información que se incorpora al modelo durante las diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto de construcción. Los niveles de BIM son una forma de medir la madurez y la sofisticación del uso de la tecnología BIM en un proyecto. Es importante tener en cuenta que los niveles de BIM pueden variar según el país o la región. Aquí se presenta una descripción general de los niveles comúnmente aceptados:

BIM Nivel 0: En este nivel, no hay colaboración BIM y la información se presenta en formatos 2D tradicionales. Los diferentes participantes del proyecto no comparten un modelo centralizado y no hay una colaboración digital significativa.

Ejemplo de ello: Los planos y la documentación son creados en 2D. Los participantes no comparten un modelo centralizado, y la comunicación se realiza principalmente a través de intercambio de documentos en papel o en formato digital.

BIM Nivel 1: En este nivel, se introduce la colaboración BIM básica. Los participantes pueden usar modelos 3D, pero no necesariamente trabajar en un modelo centralizado. La información se comparte principalmente a través de documentos y archivos 3D, pero no hay una colaboración plena en un único modelo compartido.

Ejemplo: Los participantes pueden trabajar con modelos 3D, pero estos no están centralizados. Cada disciplina (arquitectura, estructura, instalaciones) tiene su propio modelo. Se comparten datos en formatos digitales, pero no hay un modelo central compartido.

BIM Nivel 2: Este nivel implica una colaboración más avanzada. Se utiliza un modelo 3D compartido centralizado que es accesible para todos los participantes relevantes. Cada disciplina tiene su propio modelo, y la información se intercambia de manera estructurada mediante formatos y estándares acordados.

Ejemplo: Cada disciplina crea y mantiene su propio modelo 3D, pero estos modelos se combinan en un modelo central compartido que sirve como punto de referencia para la colaboración. La información se intercambia de manera estructurada, y hay una mejora en la colaboración y coordinación.

BIM Nivel 3: En este nivel, la colaboración BIM es plena. Todos los participantes trabajan en un único modelo 3D compartido en tiempo real. La información se actualiza continuamente, y se fomenta la colaboración en todas las etapas del proyecto, desde el diseño hasta la construcción y la gestión de instalaciones.

Ejemplo de este Nivel: Todos los participantes trabajan en un único modelo 3D compartido en tiempo real. Se fomenta la colaboración constante y la actualización continua del modelo. La información se comparte en tiempo real, desde el diseño hasta la construcción y la gestión de instalaciones.

Estos niveles representan una progresión en la implementación y adopción de la metodología BIM en un proyecto. La transición de un nivel a otro implica una mayor integración y colaboración entre los diferentes actores del proyecto y una mayor sofisticación en el uso de la tecnología BIM.

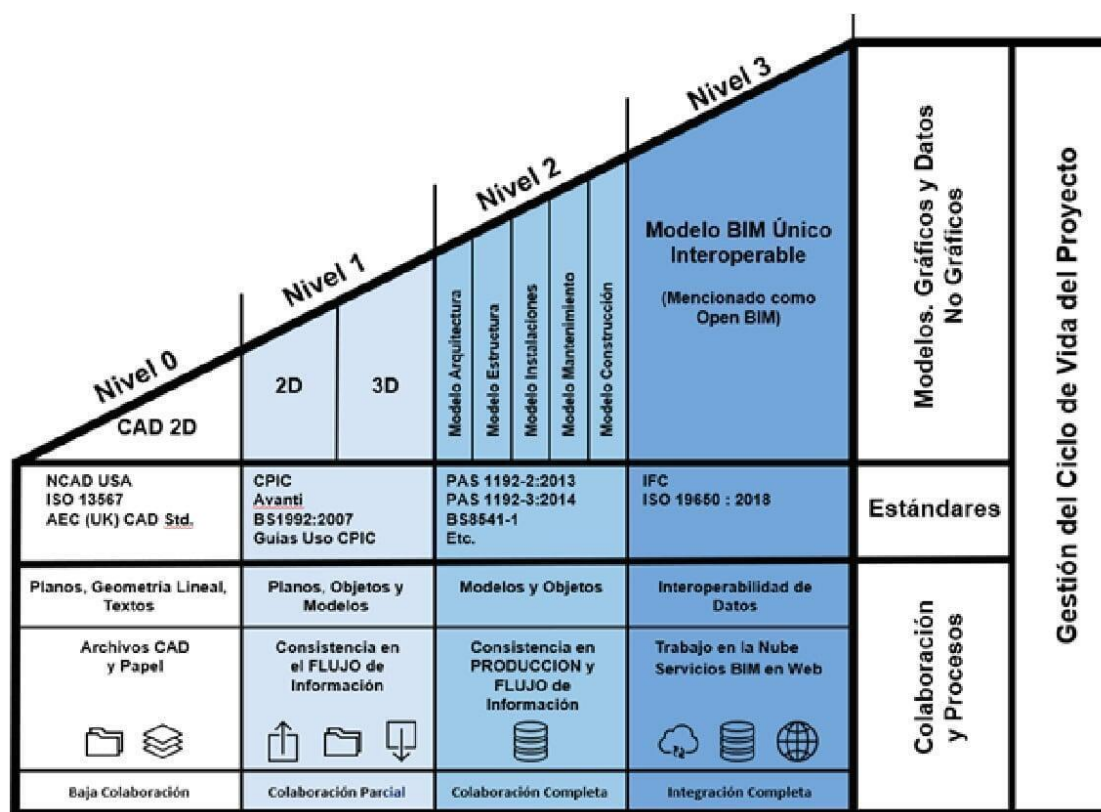


Figura 17: Niveles del BIM de Bew-Mervyn. Tomada y traducida de: McPartland, BIM Levels explained, 2014

Recomendaciones para implementar el BIM

Para una implementación exitosa del Modelado de Información de Construcción (BIM) en un proyecto de construcción, se deben seguir varias recomendaciones clave:

Planificación Estratégica: Desarrollar un plan estratégico que defina objetivos y beneficios esperados y establecer roles, responsabilidades, plazos y asignación de recursos para la implementación.

Capacitación del Equipo: Proporcionar capacitación adecuada en el uso de software BIM, procesos y estándares y garantizar que todos comprendan cómo trabajar con los modelos y colaborar eficientemente.

Definición de Protocolos y Estándares: Establecer protocolos y estándares consistentes en todo el proyecto e incluir la estructura de modelos, nomenclatura de archivos, prácticas de colaboración y flujos de trabajo.

Selección del Software BIM Adecuado: Evaluar y seleccionar el software BIM más adecuado para las necesidades específicas del proyecto además de considerar las capacidades de software como Revit, ArchiCAD, CYPE, Robot, según la especialidad.

Colaboración y Comunicación: Fomentar la colaboración efectiva entre los miembros del equipo y establecer un Entorno Común de Datos (CDE) para facilitar el intercambio de información y la colaboración eficiente.

Buscar ayuda de una empresa externa: Asesorarse con consultores BIM para avanzar en el proceso de manera más segura.

Estas recomendaciones buscan garantizar una integración efectiva de BIM en el proyecto, mejorando la eficiencia, la calidad y la colaboración entre los equipos involucrados en la construcción.

Figura 18. VENTAJAS METODOLOGIA BIM

Fuente: (Docio, 2016)



DESVENTAJAS METODOLOGIA BIM

Algunas de las desventajas comunes del BIM incluyen:

Costos Iniciales y Capacitación: Implementar el BIM puede requerir una inversión significativa en software, hardware y capacitación del personal. Este costo inicial puede ser prohibitivo para algunas empresas, especialmente las más pequeñas.

Integración con Procesos Existentes: La integración de BIM en los procesos de construcción existentes puede enfrentar resistencia, especialmente si los equipos están acostumbrados a métodos tradicionales de gestión de proyectos.

Curva de Aprendizaje: Aprender a utilizar eficientemente las herramientas de modelado BIM puede llevar tiempo. La curva de aprendizaje puede ser empinada, especialmente para aquellos que no están familiarizados con las tecnologías de modelado 3D y software específico.

Estándares y Colaboración: Aunque existen estándares para BIM, la falta de uniformidad en la implementación puede dificultar la colaboración efectiva entre diferentes partes involucradas en un proyecto. La interoperabilidad entre diferentes plataformas BIM a veces puede ser un desafío.

Requerimientos de Hardware y Software: La ejecución eficiente del BIM requiere hardware y software potentes. Esto puede ser una limitación para algunas organizaciones que no pueden permitirse actualizar sus sistemas.

Complejidad del Proceso: La implementación completa del BIM implica cambiar los procesos tradicionales de diseño y construcción. La resistencia al cambio y la complejidad de la transición pueden ser desafíos significativos.

Dependencia de la Tecnología: La dependencia del BIM puede hacer que las organizaciones sean más vulnerables a problemas técnicos, como fallas de software o pérdida de datos. Además, la obsolescencia tecnológica puede requerir actualizaciones frecuentes.

Desafíos Legales y de Responsabilidad: La asignación de responsabilidades legales y la gestión de la propiedad intelectual en proyectos BIM pueden plantear desafíos. Además, la claridad en los contratos y acuerdos es esencial para evitar malentendidos.

Responsabilidad y Confianza: La información en tiempo real puede aumentar la presión sobre los equipos y las partes interesadas para cumplir con los plazos y las expectativas. Esto puede afectar la toma de decisiones y aumentar la responsabilidad. El aislamiento a la hora de interactuar con el Estructurista o el Arquitecto de obra no es la misma ya que no es lo mismo estar juntos en una mesa coordinando y tomando decisiones de una manera mas rápida. Que ver el avance o diferencias del proyecto de forma remota.

Interoperabilidad: La interoperabilidad entre diferentes plataformas BIM puede ser un desafío. Si los diversos actores del proyecto utilizan herramientas BIM incompatibles, la colaboración en tiempo real puede volverse complicada.

Exclusión de Pequeñas Empresas: El costo y la complejidad asociados con el BIM pueden excluir a pequeñas empresas y profesionales independientes del acceso a ciertos proyectos, lo que podría limitar la diversidad en la industria.

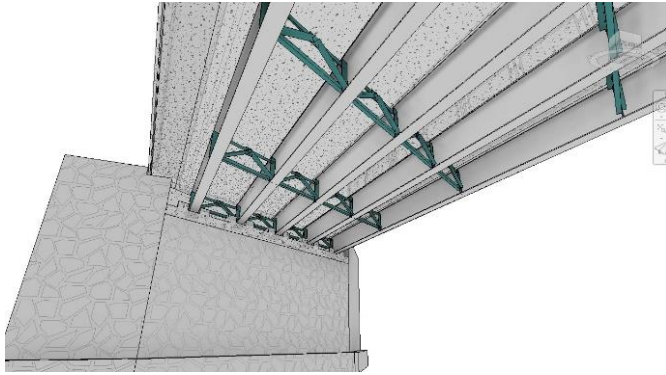
Es fundamental abordar estas desventajas mediante una planificación adecuada, implementación cuidadosa de la tecnología y una gestión efectiva de la información para maximizar los beneficios de la colaboración en tiempo real con BIM.

A pesar de estas desventajas, muchas organizaciones encuentran que los beneficios del BIM, como la mejora de la eficiencia, la reducción de errores y la mejora de la colaboración, superan sus inconvenientes. La adopción exitosa del BIM a menudo implica abordar estos desafíos de manera proactiva y desarrollar estrategias para mitigarlos.

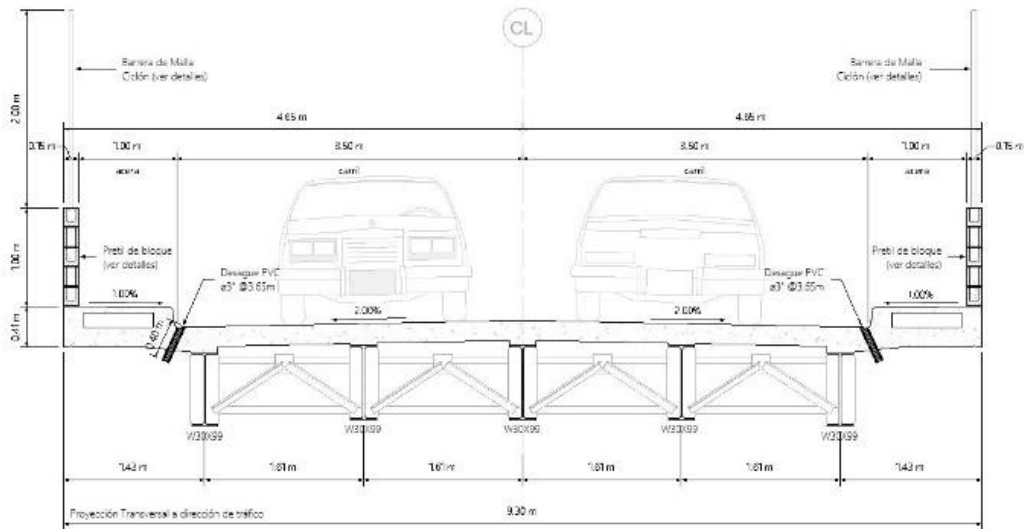


ANALISIS DE CASO- Virtualización de una infraestructura.

Proyecto: *Cordón cuneta, adoquinado y construcción de puente sobre 6° av. Norte en col. Granillo*



En esta imagen, Se puede observar un modelo 3D de lo que sería el puente construido en la realidad, esta es una aplicación de la metodología BIM, la cual, da una idea más visual de cómo se constituirá el proyecto en la realidad.

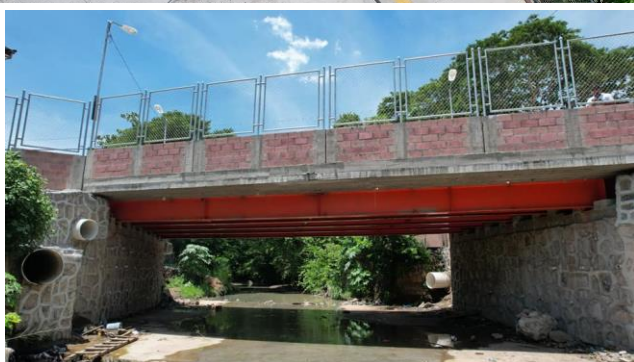


5 Secc. Transversal de Puente
FOTED4 1:30

En esta imagen, se puede observar un corte trasversal de lo que es el proyecto, donde se detalla mejor los materiales de la estructura del proyecto en 2D, es un poco más a lo que se está acostumbrado con CAD, pero aquí, en la metodología BIM, se modela el proyecto en el programa, así como también se puede observar en 3D, pero, una vez terminado es más sencillo obtener los cortes y detalles del proyecto, que facilita la estructuración de los planos finales del proyecto, gracias a la aplicación de la metodología BIM.



En esta fotografía, se puede observar un avance bastante significativo del proyecto que fue modelado, es algo similar a lo que se pudo observar en el 3D del proyecto, pero esto ya es en la materialización del proyecto, y aquí es donde se puede notar, que la aplicación de la metodología BIM, se adelanta de manera bastante visual, como va a quedar el proyecto en la realidad.



En estas fotografías, se observa la finalización del proyecto, con estas imágenes se puede comparar un poco, el modelo 3D, así es como se puede notar, de algún modo, la aplicación de la metodología BIM es bastante interesante, no solo porque da las nociones de cómo quedaría acabado el proyecto, sino que también facilita la cuantificación del volumen de la obra mediante el programa.

Figura 19. Modelado 3D para la construcción del puente sobre 6° Av. Norte, Colonia Granillo
Fuente: (Estructural, 2023)

En este proyecto se le brindo a sus clientes (*en este caso, la alcaldía municipal de San Miguel*):

- ✓ Desarrollo de modelo Estructural (Concreto, Acero de refuerzo, Acero Estructural para la super estructura, entre otros detalles que se encuentran en los planos) para validar la

constructibilidad, fabricación digital, montaje en obra y uso de cliente en software de modelado como lo es Revit Autodesk.

- ✓ Se llevo a cabo el proceso de cuantificación de volumen de obra para la realización de este proyecto en el programa donde fue modelado (*Revit Autodesk*).
- ✓ Integración del 2D y 3D. Esta metodología integra la segunda y tercera dimensión, entregándonos una mejor perspectiva del volumen u envergadura del proyecto.
- ✓ Generar de forma automática toda la documentación del proyecto: Presupuestos, planificación estructural, entre otros, Consiguiendo un aumento de la productividad y, por tanto, un ahorro de tiempo y costes.
- ✓ Información más precisa acerca de las dimensiones del proyecto.

IMPACTO EN LA CALIDAD DEL DISEÑO Y EJECUCIÓN:

En las últimas décadas, el ámbito de la ingeniería y construcción ha sido considerado lento en cuanto a su adaptación digital, en comparación con otras industrias. Sin embargo, en la actualidad, se está acelerando el proceso de transformación digital en este sector. La pandemia ha dejado una marcada huella en la productividad y economía de la industria, generando un creciente interés por parte de las empresas en buscar innovaciones digitales que tengan un impacto positivo en la productividad. Además, se observa un aumento en la implementación de iniciativas estratégicas con el objetivo de mejorar la posición actual en el mercado, crear una ventaja competitiva y prepararse para la próxima ola de transformación digital.

El reemplazo de un entorno CAD 2D o 3D con un sistema de modelado paramétrico, implica mucho más que adquirir un software, capacitación y actualización de hardware. El uso eficaz de BIM requiere que se realicen cambios en casi todos los aspectos de un negocio de la empresa (Sacks et al., 2018). Finalmente requiere una comprensión de la tecnología BIM y los procesos relacionados y un plan para implementación antes de que pueda comenzar la conversión. Un consultor puede ser de gran ayuda para planificar, monitorear y ayudar en este proceso (Sacks et al., 2018). Según (Deloitte, 2022) La revolución de la industria 4.0 está marcada por la aparición de nuevas tecnologías como la robótica, la analítica, la inteligencia artificial, las tecnologías cognitivas, la nanotecnología y el Internet of Things (IoT), entre otros. Las organizaciones deben identificar las tecnologías que mejor satisfacen sus necesidades para invertir en ellas. Los impactos

de la Industria 4.0 pueden sentirse en múltiples niveles: en grandes ecosistemas, a nivel organizacional y a nivel individual (en empleados y clientes):

Ecosistemas. Además del cambio en el que las empresas operan y en la producción de bienes, la Industria 4.0 afecta a todos los agentes del ecosistema (los proveedores, los clientes, las consideraciones regulatorias, los inversores, terceros). Estas tecnologías permiten interacciones entre cada punto de una red.

Organizaciones. La capacidad de ajustarse y aprender de los datos en tiempo real puede hacer que las organizaciones sean más receptivas, proactivas y predictivas. Asimismo, permite a la organización reducir sus riesgos en materia de productividad.

Individuos. La Industria 4.0 puede significar diferentes cosas para cada uno. Por ejemplo, para los empleados puede significar un cambio en el trabajo que van a realizar, mientras que para los clientes significaría una mayor personalización en los productos y servicios que satisfagan mejor sus necesidades. (Deloitte, 2022)

En la siguiente tabla se resumen los principales preceptos de la construcción 4.0

Preceptos construcción 4.0	
Interoperabilidad	La interoperabilidad de los medios humanos y materiales mediante el uso de IoT, computación en la nube y la robótica.
Virtualización	La virtualización de los procesos constructivos para la mejora de los mismos.
Descentralización de la toma de decisiones	La descentralización de la toma de decisiones mediante el uso de la información en tiempo real.
Orientación al cliente	Una clara orientación para el servicio al cliente, dándole el protagonismo en todas las fases de una obra.
Modularidad	La modularidad para flexibilizar al máximo la respuesta en la obra.

Tabla 1. Preceptos de la construcción 4.0

Fuente: (Silva & Alejandra, 2023)

¿Por qué es importante la industria 4.0?

Comprender el potencial de esta cuarta revolución industrial es crucial, ya que su impacto va más allá de los procesos de fabricación. Su influencia se extiende a todas las industrias, sectores y, de hecho, a la sociedad en su conjunto. La Industria 4.0 tiene el poder de optimizar las operaciones comerciales, impulsar el crecimiento de los ingresos y transformar productos, cadenas de suministro y expectativas de los clientes. Esta revolución tiene el potencial de alterar no solo la forma en que se realizan las tareas, sino también la interacción de los clientes con ellas, afectando las experiencias que esperan tener con las empresas. Además, es probable que genere cambios en la fuerza laboral, demandando nuevas habilidades y roles.

Adicionalmente, las tecnologías asociadas con la Industria 4.0 pueden dar lugar a la creación de productos y servicios completamente novedosos. La implementación de sensores, dispositivos portátiles, análisis y robótica, entre otros, permitirá mejoras en los productos en diversas etapas, desde la concepción y pruebas hasta la incorporación de conectividad en productos que antes carecían de ella. Estas modificaciones en los productos se traducen en cambios en la cadena de suministro y, por ende, en las expectativas de los clientes.

BENEFICIOS Y DESAFÍOS DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL EN LA CONSTRUCCIÓN

El BIM ofrece beneficios significativos en términos de eficiencia, colaboración, toma de decisiones informada y gestión integral de proyectos de construcción e infraestructuras. Los beneficios del BIM son numerosos y abarcan todo el ciclo de vida de un proyecto

Partiendo de los estudios de i-SCOOP (2019) se presenta la siguiente tabla que entrega un resumen de los principales beneficios de la transformación digital. (TD)

Beneficios de la Industria 4.0	
Productividad	Se produce una mejora en la productividad mediante la optimización de los procesos y automatización para evitar errores y retrasos. Además, existe un ahorro en los costo y aumento en la rentabilidad.
Datos en tiempo real	Agilización de la producción para trabajar más en tiempo real y en función de la cadena de valor global. La velocidad no es solo una ventaja competitiva y la expectativa del cliente en una economía cada vez más en tiempo real, también es una cuestión de alineación, costos y creación de valor.
Mayor continuidad del negocio	Cuando un activo industrial se estropea, es necesario repararlo. Eso cuesta tiempo, dinero y movimiento por parte del personal de soporte. Sin embargo, la transformación digital produce una mayor continuidad del negocio a través de posibilidades avanzadas de mantenimiento y monitoreo.
Mejor calidad	La TD cuenta con un sistema de producción y entorno conectado a sensores inteligentes, software, tecnologías IoT, sistemas enfocados en el cliente y con un alto grado de automatización. Esto permite la producción de productos de mejor calidad.
Mejores condiciones de trabajo	El ambiente laboral es más óptimo, gracias a la mejora de temperatura, detección rápida y protección en caso de incidentes.

Tabla 2. Beneficios de la industria 4.0

Fuente: (Silva & Alejandra, 2023)

Como refiere Barnes & Davies (2015) “BIM ofrece una oportunidad impulsada tecnológicamente para que las partes interesadas en el entorno construido, se liberen de las arcaicas cadenas de dibujo que unen el proceso y revolucionen el sistema de diseño, construcción y gestión del entorno construido”

¿Por qué es importante el BIM?

Según Barnes & Davies (2015). BIM trae consigo muchos beneficios y, a medida que se desarrolle, traerá muchos más beneficios que solo pueden ayudar a que la industria de la construcción y la Ingeniería y Arquitectura se vuelvan más eficientes y efectivas

Como se aprecia, BIM ha sido definido de formas distintas, ya sea como metodología, proceso, herramienta, conjunto o representación digital, Independientemente de sus distintos enfoques, todas tienen cuatro puntos en común:

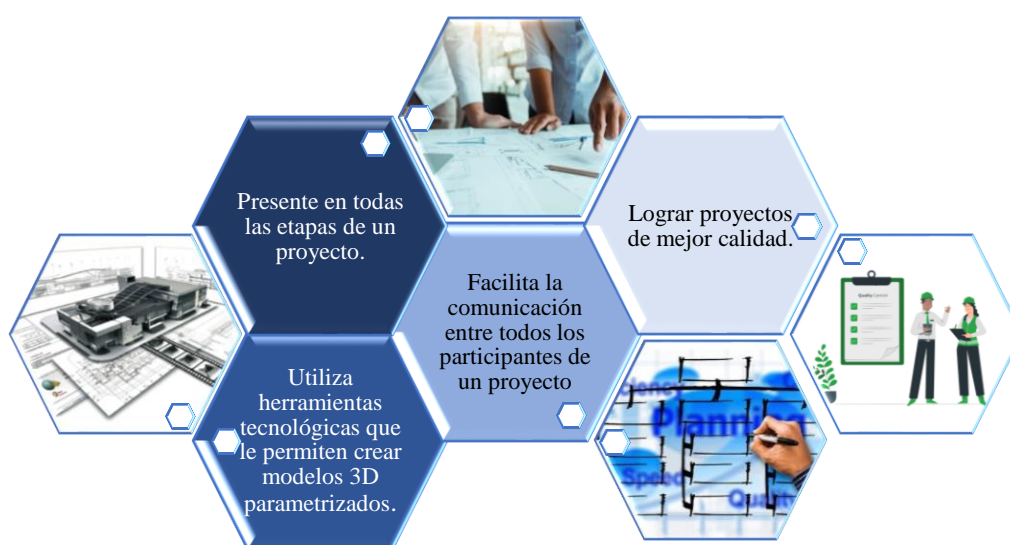


Figura 20. Puntos importantes de BIM (Fuente: Autoría propia)

La aplicación de la tecnología digital en la construcción ha llevado a importantes avances y mejoras en la eficiencia y la calidad del trabajo en la industria. Sin embargo, también presenta desafíos específicos que deben abordarse para aprovechar al máximo su potencial. Algunos de los desafíos clave incluyen:

- *Costos iniciales y capacitación:* La implementación de nuevas tecnologías digitales a menudo implica costos significativos en términos de adquisición de hardware y software, así como la capacitación del personal para utilizar estas herramientas de manera efectiva.
- *Integración de sistemas:* Muchas empresas de construcción utilizan una variedad de herramientas y sistemas, y la integración efectiva de estos puede ser un desafío. La falta de

interoperabilidad entre diferentes plataformas y tecnologías puede generar dificultades en la transferencia de datos y la colaboración eficiente.

- *Cambio cultural y resistencia al cambio:* La industria de la construcción tiende a ser tradicional y puede haber resistencia a la adopción de nuevas tecnologías. Cambiar la mentalidad y las prácticas culturales dentro de las empresas puede ser un desafío significativo.
- *Seguridad de datos y privacidad:* La recopilación y el intercambio de grandes cantidades de datos en entornos digitales pueden plantear preocupaciones sobre la seguridad y la privacidad. Es esencial implementar medidas robustas para proteger la información confidencial y cumplir con las regulaciones de privacidad.
- *Estándares y regulaciones:* La falta de estándares y regulaciones claras en algunos aspectos de la tecnología digital en la construcción puede dificultar la adopción generalizada y la interoperabilidad entre diferentes soluciones.
- *Capacidad de conectividad:* En algunos lugares, la falta de infraestructura de conectividad puede limitar la efectividad de las soluciones digitales, especialmente en sitios de construcción remotos.
- *Mantenimiento y obsolescencia:* La rápida evolución de la tecnología puede llevar a problemas de obsolescencia y a la necesidad constante de actualización y mantenimiento de sistemas para garantizar su eficacia a largo plazo.



- *Formación continua:* La tecnología digital en la construcción está en constante evolución. La capacitación continua del personal es crucial para mantenerse al día con las últimas herramientas y prácticas.
- *Sostenibilidad:* Aunque la tecnología digital puede mejorar la eficiencia, es importante considerar su impacto ambiental. La producción y eliminación de hardware electrónico, así como el consumo de energía asociado, son factores que deben tenerse en cuenta.
- *Complejidad del entorno de construcción:* Los entornos de construcción pueden ser complejos y desafiantes, con condiciones variables y factores impredecibles. La adaptabilidad de las tecnologías digitales a estos entornos es esencial para su éxito.

Abordar estos desafíos requerirá una combinación de inversión, planificación estratégica, colaboración industrial y adaptabilidad por parte de las empresas y profesionales de la construcción.

IMPORTANCIA DE LA FORMACIÓN Y CAPACITACIÓN

La complejidad y el costo de la aplicación de nuevas herramientas digitales en empresas de construcción, dependen no solo de obtener las herramientas, sino que se necesita pasar por procesos de implementación interna, capacitación periódica y proyectos piloto que demuestren el comportamiento de estas. Teniendo en cuenta que la construcción es una actividad que toma bastante tiempo, podemos hablar de ciclos de implementación de uno a dos años para aquellos proyectos de mediana escala. Asimismo, Según el Ingeniero Juan Pablo Romero “El mayor reto en la implementación de herramientas digitales es no olvidar que se trabaja con personas, hay quienes se adaptan a los cambios y hay quienes no.”

Así, transitamos de un ámbito técnico y tecnológico a un nivel más relacionado con lo laboral y personal, donde las personas desempeñan un papel fundamental en la implementación adecuada y el uso efectivo de nuevas tecnologías. En este contexto, es evidente que adoptar aplicaciones digitales conlleva un gasto significativo, que abarca desde el costo inicial de las licencias hasta los gastos en hardware y red. Además, la empresa debe asignar recursos humanos para capacitar y preparar a su personal técnico y profesional para el uso de estas tecnologías. También se podría incurrir en costos asociados a errores durante la fase de proyectos piloto, a medida que se supera

la curva de aprendizaje conocida. Por estas razones es importante destacar que la capacitación y formación en las nuevas tecnologías de construcción son fundamentales en la industria de la construcción por varias razones importantes:

- *Innovación y Eficiencia:* Las nuevas tecnologías en construcción suelen estar diseñadas para hacer los procesos más eficientes y rentables. La capacitación en estas tecnologías permite a los profesionales de la construcción aprovechar al máximo las herramientas y técnicas innovadoras para mejorar la productividad y reducir costos.
- *Calidad del Trabajo:* La formación adecuada garantiza que los trabajadores estén bien informados sobre las mejores prácticas y estándares de calidad en la implementación de nuevas tecnologías. Esto contribuye a la entrega de proyectos de construcción de alta calidad.
- *Seguridad en el Trabajo:* Algunas tecnologías nuevas están diseñadas para mejorar la seguridad en el lugar de trabajo. La formación en el uso correcto de estas herramientas y equipos ayuda a prevenir accidentes y garantizar un entorno de trabajo más seguro.



- *Adaptabilidad:* La industria de la construcción está en constante evolución, y la formación en nuevas tecnologías prepara a los profesionales para adaptarse a los cambios rápidos. La capacidad de adaptación es esencial para mantenerse competitivo y relevante en el mercado.



- *Competitividad en el Mercado:* Las empresas que invierten en la formación de su personal para utilizar las últimas tecnologías suelen ser más competitivas en el mercado. Pueden ofrecer servicios más eficientes, innovadores y de alta calidad, lo que les proporciona una ventaja competitiva.
- *Sostenibilidad Ambiental:* Muchas nuevas tecnologías de construcción están orientadas hacia prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. La capacitación en estas tecnologías permite a los profesionales contribuir a la construcción sostenible y cumplir con los estándares ambientales.
- *Reducción de Errores:* La formación ayuda a reducir errores y malentendidos en la implementación de nuevas tecnologías. Un personal capacitado tiene menos probabilidades de cometer errores costosos, lo que a su vez mejora la eficiencia y la rentabilidad.
- *Mejora Continua:* La capacitación constante permite a los profesionales de la construcción mantenerse al día con las últimas tendencias y avances tecnológicos. Esto fomenta la mejora continua y la adopción proactiva de nuevas herramientas y métodos.

La tecnología está desempeñando un papel fundamental en la industria de la construcción, impulsando una transformación profunda y emocionante en todos los aspectos del sector. Las tendencias tecnológicas están revolucionando la forma en que se planifican, diseñan y construyen los proyectos, mejorando la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad en la construcción de edificios y estructuras. (Castro, 2023)

Estas tecnologías permiten la construcción rápida y eficiente de estructuras utilizando componentes prefabricados o la impresión directa de elementos constructivos. Esto reduce los tiempos de construcción, minimiza el desperdicio de materiales y ofrece una mayor flexibilidad en el diseño y la adaptación de los espacios. (Castro, 2023)

Finalmente, la capacitación y formación en las nuevas tecnologías de construcción son esenciales para garantizar el éxito y la sostenibilidad a largo plazo en la industria de la construcción, al tiempo que se promueve la seguridad, la calidad y la eficiencia en los proyectos. Así como, las tendencias tecnológicas en el sector de la construcción están abriendo nuevas oportunidades y desafíos para los profesionales de la industria. La adopción de estas innovaciones conlleva beneficios significativos. Sin embargo, también es importante tener en cuenta los desafíos relacionados con la capacitación y la implementación de estas tecnologías, así como las consideraciones éticas y de seguridad que surgen con su uso.

En definitiva, la transformación digital en la construcción está en pleno desarrollo, y aquellos profesionales y empresas que sean capaces de adaptarse y aprovechar estas tendencias tecnológicas tendrán una clara ventaja competitiva en el sector. La construcción del futuro se está construyendo hoy, impulsada por la innovación y el uso inteligente de la tecnología para crear entornos contruidos más eficientes, seguros y sostenibles. (Castro, 2023)

ESTUDIO DE CASOS - Implantación de tecnología digital en empresas de El Salvador

- EMPRESA: **DM Ingeniería Estructural**

PROGRAMA: *AutoDesk, Revit.*

EVIDENCIA:

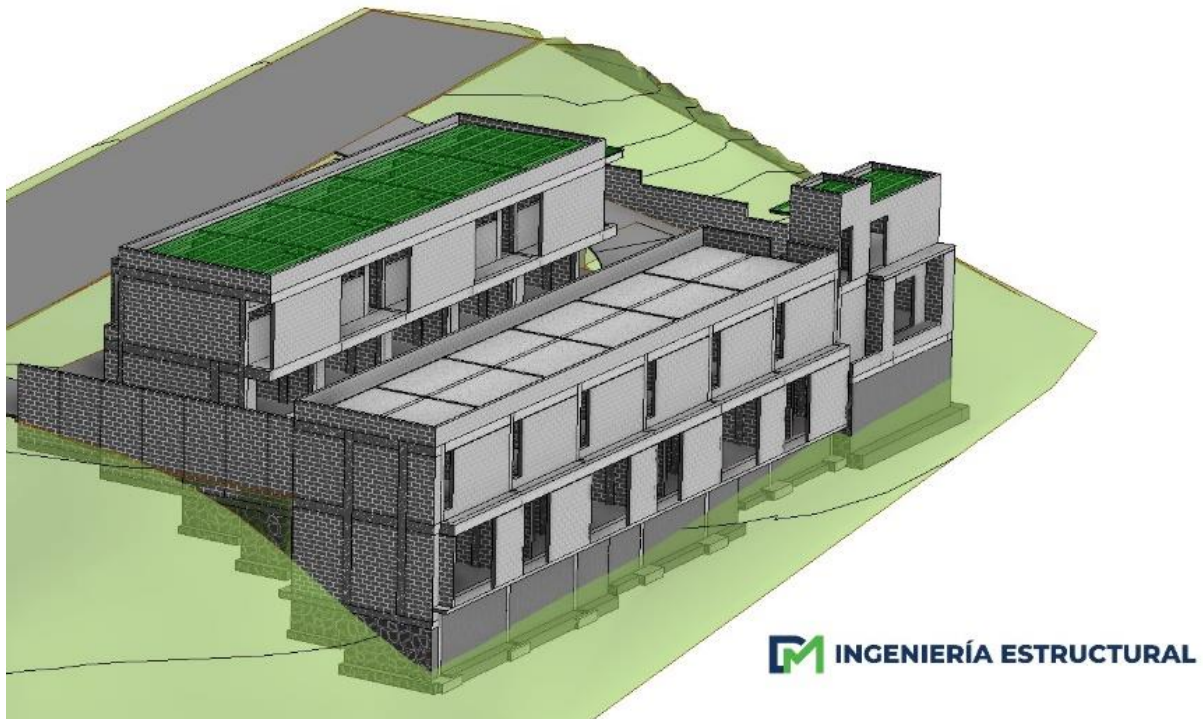


Figura 21. Diseño Estructural de Auto Hotel
Fuente: (ESTRUCTURAL, facebook, 2023)

En la Imagen se puede observar un modelado 3D en el programa Revit, por parte de DM ingeniería estructural, observando que la aplicación de los programas de ingeniería por las empresas es palpable para los proyectos en el medio.

- EMPRESA: DM Ingeniería Estructural

PROGRAMA: *AutoDesk, AutoCAD.*

EVIDENCIA:

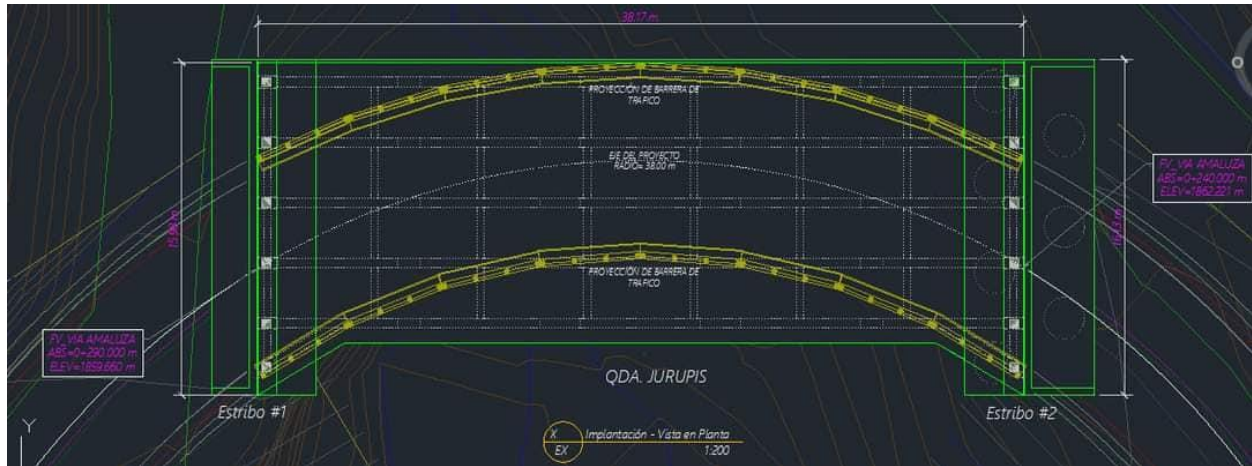


Figura 22. *Puente vehicular de 40m de longitud.*
Fuente. (ESTRUCTURAL, Facebook, 2022)

En la imagen se puede observar una vista en planta de una carretera en el programa de AutoCAD, por parte de la empresa, dando a conocer el uso de los softwares orientados a Ingeniería, en nuestro medio, por parte de empresas locales.

▪ EMPRESA: DM Ingeniería Estructural

PROGRAMA: *Dlubal RFEM 5.*

EVIDENCIA:

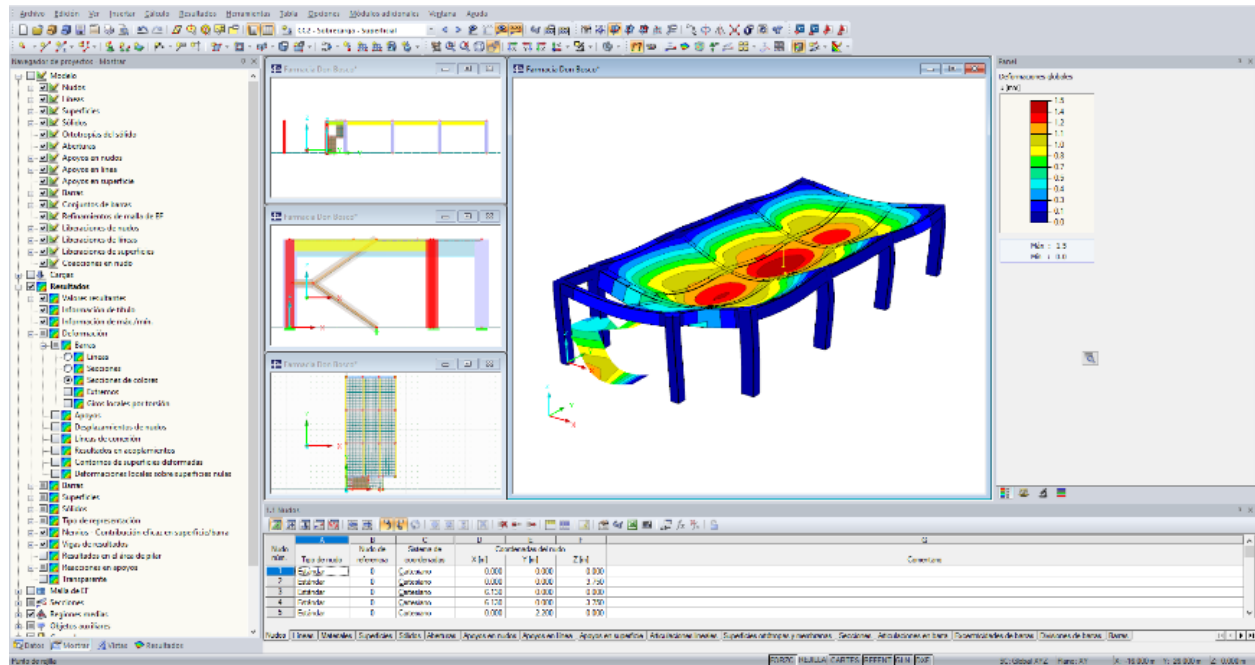


Figura 23. Diseño Estructural de Farmacia Don Bosco.

Fuente: (ESTRUCTURAL, Facebook, 2021)

En esta imagen, se puede observar la aplicación de un software enfocado en el análisis estructural, para la construcción de una obra, utilizado por parte de una empresa en nuestro medio, donde se puede hacer énfasis en el acortamiento de plazos y la eficiencia que este programa podría brindar para hacer un análisis estructural.

- EMPRESA: AMCO Consultores

PROGRAMA: *ETABS*

EVIDENCIA:

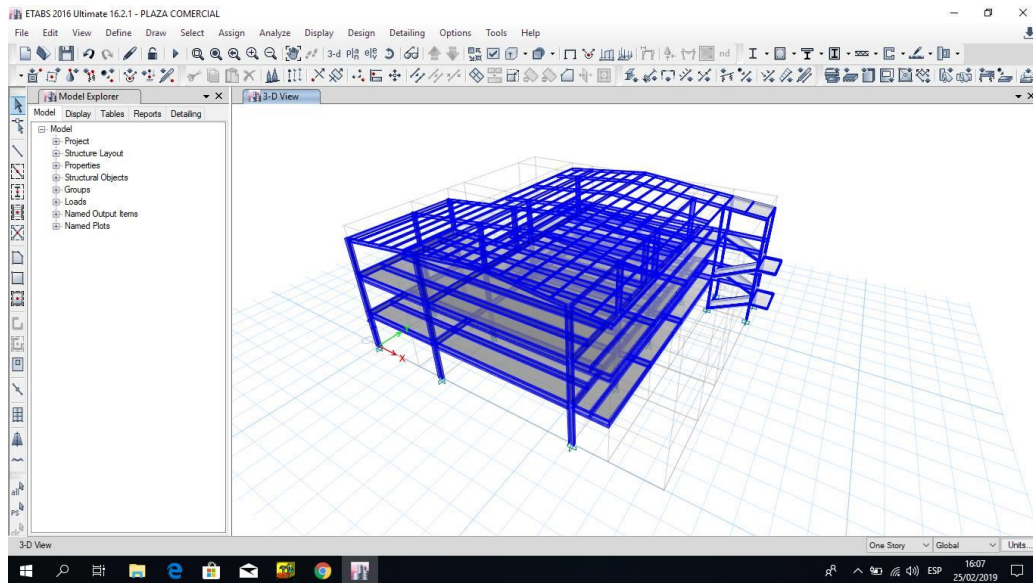


Figura 24. Diseño estructural PLAZA REALEZA
Fuente. (Andrade, 2019)

En esta imagen, se puede observar la aplicación de un software enfocado en el análisis estructural, para la construcción de una obra, utilizado por parte de una empresa en nuestro medio, diferente al software anterior, ya que ahora, el desarrollo de análisis estructural por parte de los especialistas queda a su criterio, para utilizar el software que más les guste o se acomode a su forma de trabajo.

Y esto son solo algunos de las muchas cosas que podríamos encontrar en el sector de la construcción. Aún hay más programas por mencionar que son utilizados, por ejemplo, Microsoft Project, que es mayormente utilizado para la planificación de una obra, tiempos probables, estimaciones y todo lo que conlleva este diagrama.

No solo nos enfoquemos en las publicaciones de las empresas donde nos muestran como utilizan los diversos softwares enfocados a la ingeniería, sino que, veamos los requisitos que las empresas utilizan para contratar personas, estos exigen como requisito, el conocimiento básico o avanzado de los programas enfocados a nuestro rubro, como lo son AutoCAD, Revit, Sकेctup, Project, entre otros.

A continuación, se presentan dos casos en los cuales uno de ellos es una empresa que emplea la metodología BIM para gestionar diferentes aspectos del ciclo de vida de sus proyectos y otra empresa que, por diversas razones, aún no ha adoptado esta metodología, continuando con sistemas más ambiguos para el desarrollo de proyectos

CASO 1: *Empresa que utiliza la metodología BIM*

- *Parte Estructural:* En el caso de la parte estructural, el software BIM como Revit permite a los ingenieros modelar virtualmente la estructura de un edificio en 3D. Pueden analizar y simular cómo diferentes materiales y configuraciones afectarán la resistencia y estabilidad de la estructura. Herramientas como Revit Structure facilitan la coordinación entre arquitectos e ingenieros estructurales al permitirles trabajar en el mismo modelo, lo que ayuda a evitar conflictos y mejora la eficiencia.
- *Parte Arquitectónica:* BIM se utiliza para modelar la arquitectura del edificio en detalle. Esto incluye elementos como paredes, ventanas, puertas, y otros componentes arquitectónicos. La colaboración entre arquitectos, diseñadores y otros profesionales se facilita a través de la capacidad de compartir y trabajar en un modelo centralizado. Esto mejora la coordinación y reduce la posibilidad de errores durante el proceso de diseño y construcción.
- *Parte Eléctrica:* En la parte eléctrica, los ingenieros pueden utilizar software BIM para diseñar y simular sistemas eléctricos. Pueden modelar la distribución de cables, conexiones y equipos eléctricos en el contexto del edificio completo. Esto no solo facilita el diseño, sino que también ayuda a prevenir conflictos con otros sistemas como por ejemplo el estructural, al detectar posibles interferencias durante la fase de diseño.
- *Vínculo entre Disciplinas:* La tecnología BIM permite un vínculo integrado entre las disciplinas, lo que significa que los modelos de arquitectura, estructura y servicios (MEP: mecánica, electricidad, fontanería) están interconectados. Los cambios en un aspecto del diseño se reflejan automáticamente en los demás, lo que mejora la coherencia y la coordinación.

Beneficios para la Empresa Constructora:

La implementación de BIM en el proceso de construcción aporta eficiencia y reduce costos al minimizar los errores y retrabajos. Así como mejorar la coordinación entre diferentes equipos y disciplinas, reduciendo los conflictos en el sitio de construcción. Así como facilitar la visualización y comprensión del proyecto, tanto para los profesionales de la construcción como para los clientes, lo que puede ayudar en la toma de decisiones. Así también; la información detallada proporcionada por BIM puede ser valiosa incluso después de la construcción para el mantenimiento y la gestión de instalaciones.

CASO 2: *Empresa que no utiliza BIM*

La empresa puede utilizar métodos tradicionales para abordar diferentes aspectos de sus proyectos de construcción.

- *Resolución de la Parte Estructural:* En lugar de utilizar el modelado estructural en 3D proporcionado por BIM, La empresa puede depender de planos y documentos 2D detallados para diseñar y planificar la parte estructural de sus proyectos. Esto implica un enfoque más manual y podría requerir más tiempo y recursos para la resolución de problemas estructurales durante la construcción física.
- *Resolución de la Parte Arquitectónica:* La parte arquitectónica se abordaría mediante planos y dibujos bidimensionales. Los arquitectos y diseñadores utilizar herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) para crear planos detallados de los aspectos arquitectónicos, pero la coordinación entre disciplinas puede ser más desafiante sin un modelo tridimensional centralizado.
- *Resolución de la Parte Eléctrica:* En la parte eléctrica, LA empresa constructora depender de planos eléctricos detallados para diseñar la distribución eléctrica y los sistemas eléctricos. La coordinación con otras disciplinas podría implicar revisiones manuales de planos para evitar interferencias.
- *Vínculo entre Disciplinas:* Sin la adopción de BIM, la coordinación entre disciplinas podría ser más compleja. La comunicación y el intercambio de información entre arquitectos,

ingenieros estructurales y eléctricos podrían basarse más en documentos impresos y reuniones presenciales, lo que podría llevar a una mayor posibilidad de errores y malentendidos.

La empresa constructora puede optar por no adoptar la tecnología BIM debido a la familiaridad con métodos tradicionales, el costo de implementación, el tamaño y complejidad del proyecto, la falta de requerimientos del cliente, la resistencia al cambio organizacional, la escalabilidad percibida de los métodos tradicionales, y la necesidad de cumplir con ciclos de proyecto rápidos. Aunque BIM ofrece beneficios significativos, algunas empresas pueden elegir métodos tradicionales por diversas razones, a pesar de la creciente tendencia hacia la adopción de tecnologías digitales en la industria de la construcción.

Desventajas para la empresa constructora

La empresa puede resolver los aspectos estructurales, arquitectónicos y eléctricos mediante métodos tradicionales. Sin embargo, la decisión de una empresa constructora de no adoptar la tecnología BIM puede acarrear varias desventajas que pueden afectar la eficiencia operativa, la calidad de los proyectos y la competitividad en el mercado. Así como también podría resultar en desafíos significativos en términos de coordinación, eficiencia y calidad en comparación con empresas que han abrazado esta tecnología. La inversión en BIM puede ser clave para mejorar la competitividad y la eficiencia general en el sector de la construcción.



DISCUSIÓN

Conceptos equivocados sobre BIM

A continuación, se presentan algunas ideas equivocadas respecto al BIM y su correcta interpretación.

<i>IDEA EQUIVOCADA</i>	INTERPRETACION CORRECTA
<i>BIM es un visualizador 3D de infraestructuras o un modelo 3D</i>	<p>BIM se apoya del uso de software para optimizar el tiempo de trabajo y aumentar la participación de los interesados en un proyecto. No se debe confundir con el uso de una herramienta con el verdadero comportamiento de BIM.</p> <p>La capacidad de visualizar o diseñar un modelo, es netamente del software, y como se menciona anteriormente, BIM se apoya en ellos, para el desarrollo de este.</p>
<i>BIM es Revit</i>	<p>Existe una relación entre BIM y Revit de Autodesk. Pero esta afirmación viene siendo un grave error ya que Revit, es una plataforma que permite el desarrollo de BIM, y BIM se apoya de esta. Es el mismo error que compararlo a BIM con el uso de un software.</p>
<i>BIM es un nuevo requerimiento de obras</i>	<p>En la actualidad, se cree que los nuevos requisitos que se vienen empleando en la contratación de obras públicas o privadas, implica BIM. No obstante, BIM no es un método de contratación, ni de ejecución, ni de mantenimiento, se solicita su uso por los beneficios que genera.</p>
<i>BIM solo es una nueva forma de trabajo</i>	<p>BIM es más que un método de trabajo, ya que tiene dos aspectos esenciales, la generación de modelos 3D y el uso de datos para comunicar todas las partes interesadas de un proyecto en todo su ciclo de vida</p>

Tabla 3. Idealización sobre el BIM Fuente: (Arevalo Pizarro & Soto Arrieta , 2022)

Para una mejor comprensión de la transición de CAD hacia BIM, se hará una comparación de lo que implica cada concepto

BIM <i>(Building Information Modeling)</i>	CAD <i>(Computer Aided Design)</i>
<p>BIM es el conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual (Plan BIM Chile, s.f.).</p>	<p>Es el uso de programas de computadoras para crear representaciones gráficas de objetos físicos, en 2D o 3D (Siemens, s.f.).</p>
<p>Ejemplos de softwares en las que se apoya BIM: Revit, ArchiCAD, etc. (Sacks et al., 2018).</p>	<p>Ejemplo de softwares CAD: AutoCAD (Aouad et al., 2012)</p>
<p>Las modificaciones están automatizadas en un modelo BIM, si se cambia algo en algún plano o vista del modelo, inmediatamente ese cambio aparece en el resto de las vistas y secciones, reduciendo tiempos, eliminado el retrabajo y minimizando errores (Sacks et al., 2018).</p>	<p>En caso de corregir algún detalle en uno de los planos, este debe modificarse manualmente en cada uno de los planos, no es un proceso automatizado (Aouad et al., 2012).</p>
<p>Permite hacer un seguimiento durante todo el ciclo de vida de un proyecto, el modelo utilizado para las fases de diseño y construcción sirve para el seguimiento en las fases de operación y mantenimiento (Sacks et al., 2018).</p>	<p>Los softwares CAD se utilizan para las etapas de diseño y documentación técnica (Autodesk, s.f.)</p>
<p>Los modelos 3D contienen información gráfica y no gráfica, están compuestos de objetos paramétricos (Sacks et al., 2018).</p>	<p>Los programas CAD imitan los procesos antiguos donde los dibujos se hacían con lápiz y papel, solo que, en menor tiempo y mayor precisión, sin embargo, sus objetos no contienen ninguna información, son solo líneas, tramas y arcos para dibujos 2D y esferas, primas o cilindros para dibujos 3D (Aouad et al., 2012).</p>

Tabla 4. Diferencia entre BIM Y CAD (Fuente: Autoría propia)

CONCLUSIONES

La exploración de la innovación tecnológica en la Ingeniería y Arquitectura, específicamente el impacto de herramientas digitales en eficiencia y calidad, revela una transformación radical en la industria. A medida que estas tecnologías se consolidan como componentes fundamentales, su influencia positiva se manifiesta en diversas dimensiones. La eficiencia operativa se ha visto mejorada significativamente con la adopción de herramientas digitales, desde la planificación y diseño hasta la ejecución de proyectos. La rapidez y precisión en la ejecución de tareas han experimentado un aumento notable, contribuyendo a una reducción sustancial en los plazos de entrega y, por ende, a una optimización de recursos.

La calidad en la construcción ha alcanzado niveles sin precedentes gracias al modelado 3D y tecnologías similares. La capacidad de visualizar y simular proyectos antes de la construcción ha permitido identificar y corregir posibles errores, asegurando estándares más elevados en la ejecución de proyectos. Esto se traduce en edificaciones más económicas, duraderas y alineadas con las expectativas del cliente. Sin embargo, esta revolución tecnológica no está exenta de desafíos. La curva de aprendizaje asociada con la implementación de estas herramientas y la necesidad de una capacitación constante resaltan la importancia de preparar a los profesionales de la construcción para abrazar plenamente las posibilidades que ofrecen.

Es importante destacar que, a pesar de estas desventajas, muchas organizaciones han encontrado que los beneficios de la implementación de BIM superan ampliamente estos desafíos. La eficiencia mejorada, la reducción de errores y la colaboración mejorada son solo algunos de los beneficios que pueden obtenerse con una implementación efectiva de BIM.

En conclusión, la innovación tecnológica, en particular el impacto de las herramientas digitales, redefine el panorama de la construcción en la Ingeniería y Arquitectura. Este cambio no solo mejora la eficiencia y calidad, sino que también establece las bases para un futuro donde la tecnología continuará siendo la principal aliada en la materialización de proyectos constructivos avanzados y sostenibles.

RECOMENDACIONES

- Capacitarse regularmente sobre el uso de estas herramientas ya que están siendo actualizadas constantemente. Participar en programas de formación y cursos especializados es una estrategia efectiva para mantenerse actualizado. Estos cursos no solo ofrecen información sobre las últimas actualizaciones de software, sino que también brindan oportunidades para adquirir nuevas habilidades y técnicas que pueden aumentar la eficiencia y productividad en el uso de estas herramientas.
- Dar consejos y recomendar estas herramientas en la medida de lo posible a compañeros de trabajo y colegas.
- Hacer uso correcto y ordenado de los programas. Para garantizar una eficiente interacción con las herramientas informáticas, es esencial seguir ciertas pautas que optimizan la experiencia del usuario y aseguran un manejo efectivo de los recursos tecnológicos.

En primer lugar, es crucial familiarizarse con la interfaz y las funcionalidades del programa en cuestión. La comprensión detallada de las opciones disponibles permite aprovechar al máximo las capacidades del software y realizar tareas de manera más eficiente. Además, mantenerse actualizado sobre las actualizaciones y nuevas versiones contribuye a aprovechar las últimas mejoras y características implementadas por los desarrolladores.

- La organización juega un papel clave en el uso ordenado de los programas. Mantener una estructura de carpetas lógica y coherente facilita la búsqueda y recuperación de archivos, evitando pérdidas de tiempo innecesarias. Además, es recomendable utilizar nombres de archivo descriptivos para facilitar la identificación del contenido. Así como realizar copias de seguridad periódicas garantiza la preservación de la información crítica en caso de fallos técnicos o pérdida accidental.
- Aceptar los cambios de paradigma sobre todo con los programas basados en BIM y estar abiertos a adquirir este conocimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aouad, G., Wu, S., Lee, A., & Onyenobi, T. (2012). *Computer Aided Design Guide for Architecture, Engineering and Construction*. Oxon: Taylor and Francis.
- Autodesk. (2023). *Autodesk*. Obtenido de <https://www.autodesk.mx/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Andrade, M. (Febrero de 2019). *Facebook*. Obtenido de <https://www.facebook.com/photo?fbid=1007117026147854&set=pcb.1007118669481023>
- Arevalo Pizarro , A. S., & Soto Arrieta , J. R. (Agosto de 2022). *UNIVERSIDAD DE PIURA*. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5635/ICI_2208.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barnes, P., & Davies, N. (2015). *BIM in Principle and in Practice (Primera ed.)*. London: ICE Publishing.
- Brousseau, G (1983). Los obstáculos epistemológicos y los problemas en matemáticas. *Recherches en Didactique des mathématiques*, pp. 165-198 - Traducción de Hernández y Villalva
- Bravo, P. A. (23 de Octubre de 2021). *konstruedu*. Obtenido de <https://konstruedu.com/es/blog/que-es-y-para-que-sirve-revit-arquitectura-2>
- Chara, J. C. (2022). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/370112237/Refem-5-Leaflet-Es>
- Castro, S. (Julio de 2023). *Concreto*. Obtenido de <https://revistaconcreto.com/construccion-4-0-las-tendencias-tecnologicas-que-estan-revolucionando-el-sector/>
- Docio, J. G. (2016). *Escuela Técnica Superior de Arquitectura*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/92446/%282%29%20Garcel%20c3%a1n%20Docio%20-%20Impacto%20de%20BIM%20en%20la%20Gesti%20c3%b3n%20de%20un%20proyecto%20y%20obra%20de%20arquitectura%20a%20de%20AutoCAD%20a%20REVIT.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- dlubal. (2022). *Tecnica industrial*. Obtenido de <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/110/6335/a6335.pdf>
- Dlubal. (2022). *Dlubal*. Obtenido de <https://www.dlubal.com/es/soluciones/areas-de-aplicacion/planificacion-orientada-a-bim/que-es-bim>
- Deloitte. (2022). *Deloitte*. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>
- ESTRUCTURAL, D. I. (agosto de 2021). *Facebook*. Obtenido de <https://www.facebook.com/DMIingenieriaEstructural/photos/pb.100063684183617.-2207520000/4214899468559535/?type=3>
- ESTRUCTURAL, D. I. (marzo de 2022). *Facebook*. Obtenido de <https://www.facebook.com/DMIingenieriaEstructural/photos/pb.100063684183617.-2207520000/4908889409160534/?type=3&paipv=0&eav=AfYMxPZMr4EyUM1fcIw1QMjr6rXECBHp8aC->

- Sr1C74g3GP3P6jv6wXGF5ONiSjACAtA&_rdr
/photos/a.104256288073709/147694057063265/?type=3
- Estructural, D. I. (2023). *Facebook*. Obtenido de <https://www.facebook.com/DMIIngenieriaEstructural>
- ESTRUCTURAL, D. I. (Febrero de 2023). *facebook*. Obtenido de <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=652410006891800&set=pb.100063684183617.-2207520000&type=3>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). Animated horsehairs. In I. John Wiley & Sons (Ed.), *Notes and Queries* (Vols. s7-II, Issue 32). Obtenido de <https://doi.org/10.1093/nq/s7II.32.110-e>
- ETABS. (2023). *software shop*. Obtenido de <https://www.software-shop.com/producto/etabs>
- Fácil, C. A. (22 de Octubre de 2020). *Facebook*. Obtenido de <https://www.facebook.com/103976021435069/photos/a.104256288073709/147694057063265/?type=3>
- FERNÁNDEZ, C.; SÁNCHEZ F.,y YÁNEZ, I , RUMBO: Camino a la empresa innovativa. Editorial Tekniker.Eibar.2001
- Fenves, S. oJ., Logcher, R. D., & Mauch, S. P. (1965). *STRESS: A Reference Manual* (S. oJ. Fenves, R. D. Logcher, & S. P. Mauch (eds.)). The Massachusetts Institute of Technology.
- Fácil, C. A. (22 de Octubre de 2020). *Facebook*. Obtenido de <https://www.facebook.com/103976021435069/photos/a.104256288073709/147694057063265/?type=3>
- GEE,S.,Technology transfer,Innovation & International Competitiveness.Wiley and Sons.New York. 1981.
- Hempelmann, G., Benson, M., & Junger, A. (1999). Das “Jahr-2000-problem.” In *Anesthesiologie Intensivmedizin Notfallmedizin Schmerztherapie* (Vol. 34, Issue 12). Obtenido de <https://doi.org/10.1055/s-1999-230>
- i-SCOOP. (2019). *Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained*. Obtenido de <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>
- Loaiza, R. *Facilitación y Capacitación Virtual en América Latina*, Revista Quaderns Digitals Nº. 28. Colombia, 2002, pp. 85, 154
- Lundstrom y Philip (2013). *Convergence Platforms: Foundational Science and Technology Tools*. En: Roco et al. *Convergence of Knowledge, Technology, and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies*. Dordrecht, Heidelberg, Nueva York, Londres: Springer, pp. 33-68.
- Lara, R. d. (2010). *Editorial ingeniería: hacia una definición mas integral*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5478778.pdf>
- LANIA, A. C. (2017). Convergencia Tecnológica: supuestos y conceptos. *NEWSLETTER*, 1-I.
- Marchante, A. (28 de Septiembre de 2022). *3D Natives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/autocad-cuales-caracteristicas-del-software-020420202/#!>

- Mensos, B. p. (23 de Abril de 2021). *Youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=ALe-Zu4ysyo>
- otao, k. (2023). *kenhda otao*. Obtenido de <https://kenhdaotao.edu.vn/imagenes-de-la-industria-4-0-1689933297368571/>
- Pour Rahimian, F., Seyedzadeh, S., Oliver, S., Rodriguez, S., & Dawood, N. (2020). On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning. *Automation in Construction*, 110 (November 2019), 103012. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103012>
- Pico, N. (18 de Febrero de 2022). *Entre flores y plantas*. Obtenido de <https://entrefloresyplantas.es/bioenergia/cuarta-revolucion-industrial-fuentes-de-energia/>
- Quispe, I. (2023). *ARCUX*. Obtenido de <https://arcux.net/blog/que-es-autocad-y-para-que-sirve/>
- Revit, A. (2023). *Autodesk*. Obtenido de <https://www.autodesk.es/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractos, and Facility Managers (Tercera ed.)*. Hoboken: Wiley.
- Sullivan, F. &. (2019). *IBM*. Obtenido de <https://www.ibm.com/downloads/cas/AXEO9DAP>
- Sánchez, J. L. (2022). *IEBS digital school*. Obtenido de <https://www.iebschool.com/blog/industria-cuarta-revolucion-industrial-business-tech-logistica/>
- Silva, E., & Alejandra, C. (2023). *Repositorio academico de la universidad de chile*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/192784>
- Sánchez, A. (2016). *BIM y las 7 dimensiones*. Obtenido de: <https://www.espaciobim.com/bim-3d4d-5d-6d-7d/>
- Siemens. (s.f.). *PLM AUTOMATION SIEMENS*. Obtenido de <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>
- Turk, Ž. (2019). *C ONSTRUCTION 4 . 0 – D IGITAL T RANSFORMATION OF O NE OF THE O LDEST I NDUSTRIES*. 21(3), 393–411. Obtenido de <https://doi.org/10.15458/ebr.92>