



Desafíos para la implementación de tecnologías de la
industria 4.0 para el sector de la Construcción en Colombia

Modalidad: Monografía

Andrés Felipe Galán Mojica
1005323264

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de ciencias Naturales e Ingenierías
Tecnología en Producción Industrial
Bucaramanga y fecha de presentación (11 de marzo de 2022)



Desafíos para la implementación de tecnologías de la
industria 4.0 para el sector de la Construcción en Colombia

Monografía

Andrés Felipe Galán Mojica

**Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo en Producción Industrial**

DIRECTOR

Sebastián García Méndez

Grupo de investigación – SIGLA

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de ciencias Naturales e Ingenierías
Tecnología en Producción Industrial
Bucaramanga y fecha de presentación (11 de marzo de 2022)**

Nota de Aceptación



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

Inicialmente a Dios gracias por permitirme estar aquí hoy en este momento de mi vida, cumpliendo grandes sueños y metas. A mi familia, por apoyarme en esta etapa, pues han sido un gran soporte en todas las pruebas que se presentan cada día. Doy gracias a todas aquellas personas que han permanecido junto a mí, alegres y orgullosos por mis logros, a mis docentes por las enseñanzas que me brindaron, ya que fueron de gran ayuda para mi formación profesional, pero sobre todo personal, pues fueron parte fundamental de todo el proceso que se llevó a cabo en este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco a las siguientes empresas: Sumas Construcciones S.A.S, OTACC S.A., DISCON LTDA, Constructora Valderrama, Constructora JK Salcedo SAS, Muisca Construcciones, Coinvecol Constructora, Consuegra Santos S.A., Made S.A., Marval Construcciones, Mardel Constructora, Pascal Ingenieros, Conaring, Interobras de Santander S.A.S., Cocinco Constructora Cinco Estrellas S.A.S, Ardisa Centro de la Construcción, Urbacolombia S.A.S., Santander S.A.S, Proyectos y Servicios Ltda, Construcciones y Reformas de Colombia S.A.S, E&P Ingeniería SAS, Innova LTDA, Connar Construcciones & Arquitectura SAS, Rioca Ingeniería S.A.S, Urbanart Ingeniería S.A.S, Gradex Ingeniería S.A., RBC Inversiones y Construcciones, Constructora Sky Company SAS, Ramírez Arenas S.A.S, Pascal Ingenieros, y al personal de estas empresas por el buen recibiendo, por el tiempo prestado, y por la información brindada en las encuestas.

Agradecimientos también al director de este proyecto Sebastián García Méndez, quien fue de gran apoyo en la ejecución de esta idea, además de su gran conocimiento en el tema, el cual fue de gran ayuda para el mejor desarrollo del mismo.

Por últimos agradecimientos a la institución por sus enseñanzas y dedicación hacia los estudiantes que son esenciales para que cumplimiento de los sueños y metas de todos lo que hacen parte de ella.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	10
INTRODUCCIÓN.....	12
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN	14
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	15
2. MARCO REFERENCIAL	21
2.1. MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	21
2.1.1. FUNDAMENTOS Y PRINCIPIOS DE LA 4.0	21
2.1.2. COMPONENTES DE LA INDUSTRIA 4.0	23
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION	32
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	34
5. RESULTADOS	36
5.1. IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS INHERENTES A LA I4.0 EN CONSTRUCCIÓN	36
5.1.1. IDENTIFICACION DE LOS PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN CONVENCIONAL.....	36
5.1.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE LA INDUSTRIA 4.0 APLICADOS A LA CONSTRUCCIÓN EN BUCARAMANGA	40
5.2. PROPUESTA DE ACCIONES DE MEJORA PARA PROCESOS PARA MIGRAR HACIA LA CONSTRUCCIÓN 4.0	65
5.2.1. ACCIONES A IMPLEMENTAR EN PROCESOS PARA LA CONSTRUCCIÓN 4.0	66
5.3. PROPUESTA DOCUMENTAL DE ACCIONES DE MEJORA PARA LAS EMPRESAS DE LA CONSTRUCCIÓN	76

6.	<u>CONCLUSIONES.....</u>	<u>84</u>
7.	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>86</u>
8.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>87</u>
9.	<u>ANEXOS.....</u>	<u>91</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principios de la industria 4.0	21
Figura 2. Pasos de transición hacia la industria 4.0	22
Figura 3. Tipos de cimentación	37
Figura 4. Desarrollo de procesos de transformación digital	44
Figura 5. Conocimiento del concepto industria 4.0 en la construcción	45
Figura 6. Capacitaciones en herramientas 4.0 para la construcción	46
Figura 7. Cuenta con asesor de migración a construcción 4.0	47
Figura 8. La maquinaria permitiría la migración progresiva hacia la construcción 4.0	47
Figura 9. Plan estratégico para software y equipos para migración hacia construcción 4.0	48
Figura 10. Capacitada tecnológicamente para las tendencias del mercado y clientes	49
Figura 11. Capacidad de la empresa para monitoreo en tiempo real	49
Figura 12. Realización de análisis big data	50
Figura 13. Procesos de simulación para diseño	51
Figura 14. Implementación de realidad virtual	52
Figura 15. Aplicación de realidad aumentada.....	52
Figura 16. Implementación de ciberseguridad.....	53
Figura 17. Emplea herramientas de impresión y escaneo 3D.....	53
Figura 18. Uso de herramientas cloud computing	54
Figura 19. Implementación de robótica en construcción	54
Figura 20. Cuenta la empresa con tecnología robótica	55
Figura 21. Implementación de inteligencia artificial	56
Figura 22. Implementación de comunicación máquina a máquina (M2M).....	57
Figura 23. Implementación de interfaces HMI	57
Figura 24. Herramientas tecnológicas IoT	58
Figura 25. Implementación de tecnología de instrumentación inteligente	59
Figura 26. Implementa sistemas de localización en tiempo real (RTLS)	59
Figura 27. Aplicación de nanotecnología en la construcción	60
Figura 28. Aplica robots autónomos en construcción.....	60
Figura 29. Prestación de bienes y servicios mediante dispositivos móviles	61
Figura 30. Uso de Comunicaciones inalámbricas	62
Figura 31. Aplicación de estrategias de marketing digital	62
Figura 32. Aplicación de e-learning.....	63
Figura 33. Implementación de estrategias e-commerce.....	64
Figura 34. Otra herramienta que use su empresa para construcción 4.0.....	64
Figura 35. Etapa de fabricación y manufactura modular	73
Figura 36. Proceso de construcción en sitio	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de cimentación	37
Tabla 2. Empresas de la construcción encuestada	41
Tabla 3. Información básica del encuestado	42
Tabla 4. Preguntas de la encuesta	42
Tabla 5. Activos inteligentes en la construcción.....	66
Tabla 6. Propuesta de documentación de acciones para construcción 4.0	76
Tabla 7. Formato de implementación de análisis big data.....	78
Tabla 8. Implementación de comunicación M2M	79
Tabla 9. Implementación de cloud computing	80
Tabla 10. Implementación de realidad aumentada	81
Tabla 11. Implementación de internet de las cosas.....	82

RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo de este trabajo en base de monografía presenta una identificación de los procesos que se encuentran inmersos en la Industria 4.0 que han sido implementados en las empresas del sector de la construcción en Bucaramanga. Posteriormente, se llevó a cabo una revisión documental de los principales obstáculos asociados a la aplicación de los procesos inherentes a la Industria 4.0. Para la parte final, se realizó una propuesta para la implementación de acciones que permitan llevar a cabo la puesta en marcha de la Industria 4.0 para el sector de la construcción.

Como parte de la metodología empleada para la realización del proyecto, la investigación fue de tipo descriptivo con enfoque cualitativo y deductivo, al realizar una revisión documental y extraer la información destacada referente al proyecto, de manera que se expongan las características de la industria 4.0 enfocada en los objetivos del proyecto. Los resultados de la investigación permitieron establecer que de las 30 empresas encuestadas son muy pocas las que han implementado alguna estrategia 4.0 en sus procesos de construcción, esto debido a los procesos de migración tecnológica que pueden ser costosos y además no se cuenta con un personal técnico capacitado en el manejo de estas herramientas. Al tener en cuenta que los pilares de la construcción 4.0 son el análisis con procesos big data, robótica e inteligencia artificial, simulación, ciberseguridad – sistemas ciber físicos, computación en la nube, manufactura aditiva impresión 3D, realidad aumentada y blockchain

PALABRAS CLAVE. Industria 4.0, Industria 4.0 en Colombia, Procesos de la
Construcción, Tecnologías 4.0.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en diferentes partes del mundo se ha visto un cambio radical en la tasa de adopción de tecnologías de la industria 4.0 por parte de fabricantes y organizaciones industriales por igual, con un aumento paulatino y gradual (Méndez, 2021). La cuarta revolución industrial, también conocida como industria 4.0 (I4.0) ha impactado la forma en que se gestionan los procesos en las empresas y organizaciones. Se ha reconocido que los países del primer mundo se enfrentan a esta nueva forma de desempeñarse, mediante la implementación de estrategias centradas en el uso de tecnologías avanzadas y la digitalización, de manera que se encuentran involucradas en la I4.0. Al hablar de América latina, pocos países han realizado avances hacia la adopción de esta industria y ha sido un proceso lento, pero que presenta grandes oportunidades para desarrollar mejoras con la adaptación a esta nueva forma de producción (Treviño & García, 2020).

La creciente complejidad en los proyectos de construcción en el sitio, junto con la necesidad de una mayor productividad, ha llevado desarrollar un mayor interés en el uso potencial de las tecnologías de la industria 4.0 (Ramos Sanz, 2019). Como parte de las tecnologías clave de la industria 4.0 para la construcción, se han implementado el análisis de datos e inteligencia artificial; robótica y automatización; gestión de la información de los edificios; sensores y conectividad industrial, mediante la aplicación del internet de las cosas. La conectividad industrial es un aspecto clave, ya que garantiza que todas las tecnologías de la Industria 4.0 estén interconectadas, lo que permite obtener todos los beneficios (Demirkesen & Tezel, 2021).

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de que Colombia realiza esfuerzos importantes para mejorar los procesos de fabricación de la industria para el desarrollo de la construcción, los avances tecnológicos de punta aún no se logran implementar en este sector por diferentes factores (Saa, 2021), ya sea económicos, pues se asume que acarrea altos costos para la adaptación tecnológica; sociales, debido a la dificultad en el cambio de cultura, políticos y gubernamentales, esto porque no se realizan procesos de apoyo a las empresas constructoras que no poseen todos los medios para lograr implementar las tecnologías de la industria 4.0 (I4.0) (Rodríguez & García, 2018). La no implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 para la construcción en nuestro país representa una clara desventaja competitiva ante países en los que los procesos de producción se integraron a la industria 4.0 desde hace ya varios años atrás (Maskuriy & Salamat, 2019), esto deja a la industria de la construcción colombiana a merced del atraso tecnológico, lo que representa menor capacidad operativa, procesos menos eficientes, costos operacionales altos y sin capacidad de respuesta rápida ante potenciales paradas del proceso de construcción (Duque, 2021).

Debido a las falencias actuales de las técnicas de fabricación en la industria nacional de la construcción, se presenta la siguiente pregunta de investigación como base de este proyecto: ¿Cuáles son los principales desafíos que afronta Colombia para a la implementación de las herramientas para la I4.0 en el sector de la construcción?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Según los investigadores Dallasega et al. (2018), los avances tecnológicos y los procesos de migración, adaptación e implementación en las distintas industrias hacia la Industria 4.0, han demostrado que la implementación de herramientas como IoT (Moshood, 2020), sistemas basados en inteligencias artificiales (Hossain, 2019), implementación de robótica y automatización de los procesos (Maskuriy & Salamat, 2019), son solo algunos de los avances que se han desarrollado en la construcción, a través de la Industria 4.0.

El aporte a las Unidades Tecnológicas de Santander de esta monografía, se verá reflejado en una investigación que identifique los avances tecnológicos, tecnologías implementadas, los desafíos de implementación nacional y las oportunidades que se pueden establecer en un futuro para mejorar los procesos de la construcción en nuestro país, con la implementación de la industria 4.0 en este sector. Trabajo que de igual forma alimentará las líneas de investigación de la tecnología en producción industrial con un documento que quedará en el repositorio institucional, disponible para posteriores investigaciones.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Formular un plan de mejoramiento entorno a la aplicación de procesos inherentes a la industria 4.0 en el sector de la construcción, contemplando una revisión del estado actual, los requerimientos y responsables.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los procesos inherentes a la Industria 4.0 implementados en las empresas del sector de la construcción en Bucaramanga

Establecer acciones de mejora en torno a la aplicación de procesos inherentes a la industria 4.0 en el sector de la construcción de Bucaramanga, contemplando lo requerimientos de la aplicación

Proponer documentación inherente a las acciones de mejora establecidas, con el fin de vislumbrar la ejecución eficaz y eficiente por parte de las empresas del sector de la construcción.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Al tener en cuenta que el interés por la industria 4.0 ha crecido de manera significativa en los últimos 10 años, que su puesta en marcha ha demostrado una mejoría en la realización de los procesos referentes a industria. En esta sección se presentan algunos de los principales trabajos desarrollados hacia la Industria 4.0 con enfoque hacia el sector de la construcción, a manera que permita establecer un panorama de la implementación de la I4.0.

En el siglo XXI, se han realizado grandes avances tecnológicos y científicos gracias a la Industria 4.0, que se centra principalmente en el uso de sistemas informáticos y ciber físicos (Fernández, 2017). La industria de la construcción también se ha beneficiado de este progreso, dando como resultado el término construcción 4.0, que ha ganado popularidad durante los últimos años. Mencionado por primera vez por Roland Berger (2016), este concepto se basó principalmente en la conciencia de las empresas de construcción de la digitalización de la industria de

la construcción y adoptó cuatro conceptos clave: datos digitales, automatización, conectividad y acceso digital. Al ser un término completamente nuevo, su definición ha evolucionado dinámicamente durante estos 4 años, pero aún se puede definir como un metaconcepto que abarca áreas importantes. De tal manera, el enfoque muy reciente de Sawhney et al. (2020) define la construcción 4.0 como un marco transformador, en el cual tienen lugar 3 transformaciones: producción industrial y construcción, sistemas ciber físicos y tecnologías digitales. Algunos ejemplos de tecnologías digitales son el Modelado de Información de Construcción (BIM Building Information Modelling), Entorno de Datos Común (Common Data Environment CDE), sistemas aéreos no tripulados, gestión de proyectos basada en la nube, Realidad Aumentada/Realidad Virtual (Augmented reality AR / Virtual Reality VR), inteligencia artificial, ciberseguridad, big data y análisis, y escáner láser (Del Val Román, 2018).

Por otro lado, dentro de la categoría de los sistemas ciber-físicos se encuentran la robótica y la automatización, los sensores, el internet de las cosas, los sistemas de sensores portátiles, los actuadores, la fabricación aditiva, la construcción fuera del sitio y en el sitio, y los equipos con sensores. Todas estas tecnologías ofrecen actualmente nuevas oportunidades para las empresas que desean aumentar su competitividad, la calidad de su trabajo, la finalización del proyecto a tiempo y los nuevos servicios ofrecidos a sus clientes (Racamán, 2018). Además, algunas de estas tecnologías, como BIM, sensores e internet de las cosas, han demostrado ser valiosas para lograr los objetivos de un entorno de construcción sostenible en los últimos años, junto con el gran potencial y las perspectivas de la toma de decisiones sostenibles en la tecnología de la construcción (Nava et al., 2019).

Estas nuevas tecnologías han tenido un gran impacto en una industria que tradicionalmente ha sido etiquetada como ineficiente, poco productiva y reacia a la

tecnología como lo es la industrial de la construcción. Además de eso, aunque la automatización se ha utilizado activa y exitosamente en diferentes industrias desde la década de 1970, su aplicación en la industria 4.0 ha sido rara o no se explota completamente (Villena et al., 2020). De tal manera, a pesar de que el lapso de tiempo es corto en el campo de la automatización de la construcción, se ha avanzado rápidamente en la investigación, pero aún no se ha transferido a la industria 4.0, los cambios parecen notables, al crear así, la necesidad de realizar una revisión de la literatura para analizar, sintetizar y discutir la información publicada, ya que el número significativo de publicaciones científicas en este campo puede ser disperso y difícil de analizar en su conjunto (Peña & Palacio, 2018).

Internacionales

La industria de la construcción ha experimentado cambios en sus procesos y métodos de trabajo, y el avance de las nuevas tecnologías en las últimas décadas ha llevado a un nuevo concepto conocido como Construcción 4.0, acuñado en 2016 en Alemania. En el trabajo desarrollado por Forca et al. (2020) desde la Universidad de Concepción en Chile, se llevó un análisis de las publicaciones en este campo para comprender cómo se entiende este concepto. Para ello, se realizó un análisis bibliométrico entre 260 artículos de investigación utilizando siete palabras clave. Los resultados revelan que el número de publicaciones ha crecido exponencialmente, con países que se destacan como Estados Unidos, Reino Unido y China líderes en este campo; además, cuatro tecnologías son esenciales para entender la Construcción 4.0 en la actualidad: impresión 3D, big data, realidad virtual e Internet de las Cosas. Los resultados de esta revisión sugieren que se deben realizar más revisiones cada 3 años para comprender la rápida evolución de la Construcción 4.0.

Desde la propuesta desarrollada por Demirkesen & Tezel, (2021) El propósito de este estudio es explorar los desafíos que dificultan la adopción de la Industria

4.0 (I4.0) entre las empresas constructoras. La industria de la construcción necesita tecnologías innovadoras debido a su naturaleza compleja y dinámica. En este sentido, las últimas tendencias como la digitalización, el modelado de información de construcción (BIM), el Internet de las cosas (IoT) son de suma importancia en términos de fomentar el cambio en la gestión de proyectos y alentar a los profesionales de la industria a adoptar el cambio para un mejor rendimiento. Este documento se centra en la adopción de I4.0 entre las empresas de construcción. En este sentido, se diseñó y administró un cuestionario a los profesionales de la construcción para revelar los desafíos en la adopción de I4.0 entre las empresas de construcción. Se pidió a los encuestados que rellenaran el cuestionario sobre los esfuerzos I4.0 de sus empresas. El cuestionario tenía como objetivo recopilar las percepciones de los profesionales de la industria que trabajan en grandes empresas de construcción. Sobre la base de estos, los desafíos enumerados se clasificaron en función de su importancia relativa e índices de éxito. Finalmente, se realizó la prueba U de Mann-Whitney para probar si existen respuestas estadísticamente significativas entre grupos de encuestados (es decir, empresas jóvenes y viejas, grandes y pequeñas, ingresos altos y bajos y área principal de especialización). Los resultados del estudio indicaron que la resistencia al cambio, los beneficios y ganancias poco claros y el costo de implementación son los principales desafíos importantes en términos de adopción de I4.0 en proyectos de construcción. Por otro lado, el análisis de datos implicó que la mayoría de las organizaciones de construcción se ocupan con éxito de los problemas derivados de la falta de estandarización, los problemas legales y contractuales y el costo de implementación en términos de promover la adopción de I4.0.

El desarrollo de tecnologías asociadas con la cuarta revolución industrial es rápido. La construcción 4.0 representa la exploración de nuevas tecnologías por parte de las industrias de arquitectura, ingeniería, construcción y operaciones, equivalente a la Industria 4.0 para la industria manufacturera. Estos conceptos

abordan múltiples perspectivas además de la tecnológica, como la gestión y los procesos. El propósito del estudio realizado por Schönbeck et al, 2020 fue investigar en qué medida la investigación sobre proyectos de construcción aborda las tecnologías de la información y la comunicación, la automatización o la industrialización. Una revisión de alcance fue el método utilizado para realizar un análisis cuantitativo de más de dos mil artículos de revistas publicados a partir de 2015. Los resultados muestran que las nuevas tecnologías se abordan por separado, mientras que los estudios de sinergia son poco frecuentes. Los análisis longitudinales muestran que no hubo un aumento significativo en los artículos de revistas relacionados con las nuevas tecnologías de 2015 a 2019.

Nacionales

En el trabajo desarrollado por García (2020) se realizó una mirada hacia el sector de la construcción como un enlace importante de crecimiento de la economía, y al estar presente la cuarta revolución I4.0, es importante desarrollar una mirada hacia el sector de la construcción, de manera que se identifique una forma en la que potencialmente se pueda llevar a este sector hacia la implementación de la Industria 4.0. Se llevó a cabo una comprensión histórica del sector de la construcción, su relevancia, características y relación con otros sectores; se establecieron actores y roles en la cadena de suministros al identificar la forma en la que estos procesos están compuestos.

Por otra parte, la documentación disponible presenta revisiones en las que se realiza un proceso en forzado a la Industria 4.0 y su potencial desarrollo en Colombia, como en la investigación realizada por Curubo & Sánchez (2019) desde la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Su trabajo destaca la implementación de la I4.0 en países como China, Alemania, Corea del Sur y Reino Unido. Muestra que las áreas de mayor desarrollo aplicado son la integración

de sistemas de redes industriales de las fabricas, mediante sistemas ciberfísicos e Internet de las Cosas (IoT) de manera que se logró una automatización completa todo un sistema de producción. Como parte del procesos metodológico se emplearon herramientas como Scopus que es un software para manejo de datos y VosView que permite la construcción y visualización de redes bibliométricas. Como parte final, se establecen una serie de recomendación para próximas investigaciones hacia la Industria 4.0 en Colombia.

De manera similar el trabajo desarrollado por Hernández (2021), de la Universidad Politécnica de Cartagena, tuvo como objetivo identificar las tecnologías, tendencias, oportunidades y desafíos del sector industrial y de otros sectores, para la aimplcación de la Industrial 4.0 de el sector del construcción naval en Colombia. Como parte de la metodología aplicada se llevó a cabo el uso de diagramas de redes y una matriz DAFO, esto con el fin de establcer las fificultades, fortalezas, oprtunidades y amanezas de estas tecnologías en el sector de la construcción naval.

En otros trabajos desarrollados por grupos de investigación en el ámbito nacional, se logró identificar que se han llevado a cabo investigación con enfoque hacia la Indutria 4.0, dirigidas hacia en desarrollo de las tecnologias y la computación para su implementación en el sector del mantenimineto industrial. La investigación realizada por Dueñas & Vargas (2019), se mostró las tecnologías 4.0 más desarrolladas en Colombia utilizadas en el mantenimiento industrial y expone las brechas del país en el desarrollo de estas tecnologías y su uso en diferentes sectores industriales. Esta investigación se desarrolló a través del análisis de datos consolidados en estudios realizados por el sector privado y el público en Colombia sobre desarrollos tecnológicos en el país donde es evidente que estas tecnologías asociadas al mantenimiento se encuentran en etapa de crecimiento y en algunos sectores de la industria han explotado los beneficios del uso.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1.1. *Fundamentos y principios de la I4.0*

El concepto de I4.0 y sus tecnologías se basa en sistemas y estructuras que prometen una mejora de dicha velocidad y una mayor flexibilidad a los productores y fabricantes (Nava et al. 2019). La Industria 4.0 difumina los límites entre la cadena de suministro, el diseño y las operaciones de la planta, y cubre 3 principios, los cuales se presentan en la Figura 1.

Figura 1. Principios de la Industria 4.0



Fuente: Autor con base en (Berger, 2016)

La ideología de la Industria 4.0 consiste en dar a luz un entorno adecuado donde todos los datos, la información dentro de la planta, a lo largo de la cadena de suministro se capturen en tiempo real, se valoren, se filtren, se impulsen y se conviertan en datos valiosos que sientan las bases de una mayor optimización, por ejemplo: monitoreo en tiempo real para evitar desviaciones o fallas materiales, máquinas o humanos (Méndez, 2021).

En la Figura 2 se presenta los pasos de transición que se requieren para llegar a la implementación de la Industria 4.0. La transición a la Industria 4.0 comienza con una elección estratégica, seguida de una reflexión sobre las áreas o procesos donde residen las ganancias potenciales de una iniciativa 4.0 (Del Val Román, 2018).

Figura 2. Pasos de Transición Hacia la Industria 4.0



Fuente: (Del Val Román, 2018)

Monitoreo: Los sensores y las fuentes de datos externas permiten monitorear la condición, el uso, el entorno del producto, genera alertas y notificaciones para informar los cambios.

Control: el software integrado en los productos permite el control de las funciones del producto, la personalización de la experiencia del usuario.

Optimización: las dos primeras fases permiten a los algoritmos optimizar los usos del producto, mejorar el rendimiento, realizar el diagnóstico, y reparar si es necesario.

Autonomía: la combinación de las 3 fases anteriores permite tener un producto autónomo, una coordinación de las operaciones con el resto de los productos y sistemas.

2.1.2. Componentes de la Industria 4.0

En esta sección se proporcionan la información sobre los componentes básicos de la Industria 4.0 junto con la literatura respectiva. En primer lugar, se proporciona una introducción básica de la Industria 4.0 y se destacan los estudios respectivos.

Sistemas ciber físicos (CPS)

Los sistemas ciber físicos (Cyber Physical Systems CPS) son la integración de la computación y los procesos físicos que son componentes esenciales de las implementaciones de la Industria 4.0. Integran funcionalidades de imagen y control en los sistemas relevantes. La característica importante de estos sistemas es responder a cualquier retroalimentación generada. Permiten el control instantáneo y la verificación de los comentarios del proceso en aras de generar los resultados esperados (Maestre et al., 2021).

Bergera et al. (2016) introdujeron una definición general de sistemas de sensores ciber físicos. Tipos especiales de sistemas embebidos, basados en potentes sistemas de software, permiten la integración en redes digitales y crean sistemas completamente nuevos con funcionalidades como parte del ciberespacio. Esto permite que los sistemas ciber físicos permitan funciones y aplicaciones del sistema completamente nuevas, como el mantenimiento basado en la condición. En

términos generales, un CPS típico puede realizar las siguientes funciones en la fabricación.

Seguimiento de procesos.

Ser aplicable en diferentes dominios contribuyendo a generar un sistema a gran escala.

Integración de diferentes disciplinas en diferentes dominios.

Manejo de una confiabilidad efectiva.

Interacción sustancial del usuario.

Monitoreo de rendimiento vivo.

Configuración, despliegue y desmantelamiento en tiempo real.

Auto comportamiento y toma de decisiones.

Distribuir una comunicación interconectada

Sistemas en la nube

El término "nube" se utiliza para aplicaciones como servicios remotos, gestión del color y aplicaciones de evaluación comparativa del rendimiento. Ha recibido la notable atención de la comunidad de tecnología de la información y su papel en otras áreas de negocio continuará creciendo. Junto con las continuas mejoras tecnológicas, la maquinaria, la gestión de datos y la funcionalidad continuarán cambiando de los enfoques tradicionales a las soluciones basadas en la nube. La nube permite la entrega de sistemas mucho más rápidos que los independientes, actualizaciones rápidas, modelos de rendimiento actualizados y otras opciones de entrega. La industria ha visto un cambio importante en el uso de soluciones en la nube y esto continuará creciendo y planteando un alto desafío para otros medios de almacenamiento de datos. La tecnología en la nube es el servicio de almacenamiento en línea más simple que proporciona conveniencia operativa con aplicaciones basadas en la web que no requieren ninguna instalación (Moshood,

2020). Tenga en cuenta que, el sistema de almacenamiento de todas las aplicaciones, programas y datos en un servidor virtual se llama computación en la nube. Facilita la operación al garantizar que los clientes y los empleados alcancen los mismos datos al mismo tiempo. Cloud systems reduce los costos, elimina la complejidad de la infraestructura, amplía el área de trabajo, protege los datos y proporciona acceso a la información en cualquier momento. Hay cuatro tipos de sistemas principalmente (Treviño & García, 2020).

Nube pública.

Nube privada.

Nube híbrida (combinación de nube pública y privada)

Comunidad en la Nube (esto se refiere a la cooperación de cualquier servicio en la nube con algunas empresas).

Comunicación máquina a máquina (M2M).

Máquina a máquina (M2M), se refiere a la comunicación directa entre dispositivos, al utilizar cualquier canal, cableado o inalámbrico. La comunicación de máquina a máquina puede incluir instrumentación industrial, lo que permite que un sensor o medidor comunique los datos que registra al software de aplicación que puede usarlos (Schiele & Torn, 2020). Dicha comunicación se logró, al hacer que una red remota de máquinas transmitiera información a un concentrador central para su análisis, que luego se redirigiría a un sistema como una computadora personal. M2M es la tecnología que permite a las empresas establecer especialmente, la comunicación inalámbrica entre los centros de información y las máquinas. Por ejemplo, la conexión GSM ayuda a enviar SMS a teléfonos móviles cuando el ladrón entra en una casa. Hacer que las tecnologías de comunicación, por cable o inalámbricas, sean fáciles de implementar y lo más baratas posible ha abierto las innovaciones en aras de una vida más fácil (Someiet al., 2020). En

cuanto a la Industria 4.0, M2M también se considera un componente esencial. La investigación y el desarrollo a lo largo de esta línea es esbozado por Prinz et al. (2019) como un modelo de madurez. Como se indicó, las aplicaciones se desplazan hacia la generación de valor para las empresas mediante la introducción de nuevas fuentes de ingresos en lugar de reducir los costos operativos. Demirkesen & Tezel, (2021) afirmaron claramente que las implementaciones M2M tienen aspectos habilitantes con varios negocios en red, que incluye;

Servicio remoto, así como gestión de información de activos que proporciona la federación de información y soporte del ciclo de vida.

Vehículos conectados donde surgen relaciones e interacciones.

Smart Vending, que es un servicio minorista y de la cadena de suministro, así como subelementos relacionadas.

Además, en entornos de Industria 4.0, la tecnología M2M está preparada para remodelar varios aspectos de la fabricación, especialmente en la eficiencia operativa, el control de calidad, toma de decisiones, relaciones con los clientes y oportunidades transaccionales. Se requiere acceso a tiempo real, procesable para establecer organizaciones más inteligentes y ágiles. Esto hace que las gerencias administren mejor los recursos, protejan los activos específicos de la empresa, implementen aplicaciones inteligentes de e-business para ampliar el alcance y respondan rápidamente a los requisitos ambientales que cambian rápidamente (Rodríguez & García, 2018). Con la inteligencia adecuada, entregada en tiempo real y utilizada adecuadamente, los servicios se pueden ofrecer y adaptar a los clientes de la mejor manera posible. La comunicación M2M en una red inteligente permite una fácil supervisión de los recursos y proporciona una mejor utilización (Berger, 2016).

Fábricas inteligentes

La fabricación inteligente es una categoría de fabricación que tiene como objetivo optimizar la generación de conceptos, la producción y las transacciones de productos desde los enfoques tradicionales hasta los sistemas digitalizados y autónomos. Cuando la fabricación se puede definir como el proceso de múltiples fases de creación de un producto a partir de materias primas, la fabricación inteligente es el subconjunto que emplea el control por computadora y altos niveles de adaptabilidad para lograr esto (Duque, 2021). Su objetivo es aprovechar las tecnologías avanzadas de información y fabricación para permitir la flexibilidad en los procesos físicos para operar en un mercado altamente dinámico y global. En una fábrica inteligente, el objetivo es producir una producción totalmente flexible a la mayor velocidad que requiera una transformación integral de métodos tradicionales a tecnologías avanzadas. Aunque habrá un cambio en los trajes de la máquina, el objetivo principal de la comunidad de investigación es hacer esta transformación de acuerdo con el principio "Plug and Play" (Dallasega et al., 2018). plug and play generalmente se refiere a dispositivos periféricos de computadora, como teclados y ratones, también se puede usar para describir el hardware interno. La extensión práctica de los productos plugand-play, cuando se aplica a la automatización industrial, ha dado paso al nuevo término llamado "plug-and-play" (Saa, 2021). Las fábricas inteligentes también se conocen como "fábricas oscuras", "fábricas de luces apagadas" o "fábricas no tripuladas". Estos conceptos proporcionan pequeñas diferencias como se describe a continuación. Cada máquina en la producción se puede dividir en nuevos elementos en segundos (Méndez, 2021). Una fábrica inteligente propone un sistema integrado con poca intervención del ser humano. El ser humano ha entrado en estos sistemas principalmente en las fases de resolución de problemas.

La Realidad Aumentada

La realidad aumentada (AR) es una versión mejorada de la realidad donde las vistas directas o indirectas en vivo de los entornos físicos del mundo real se aumentan con imágenes superpuestas generados por computadora. Esta tecnología está en el núcleo de las aplicaciones de la Industria 4.0 (Del Val Román, 2018). Las operaciones reales y la industria de la simulación surgieron juntas a esta nueva tecnología que es de gran importancia para la sociedad industrial. Estas técnicas proporcionan grandes beneficios especialmente en el diseño de productos y sistemas de producción. La realidad aumentada es una de las tecnologías de vanguardia involucradas en la tendencia de la Industria 4.0, particularmente en la generación de funcionalidades de fabricación inteligente. Esta tecnología fue vista como un lujoso juguete hasta hace unos años, pero que ahora ha alcanzado el nivel adecuado de madurez para ser empleada en un entorno de producción (Forcael et al., 2020). Esta fue una de las principales motivaciones detrás del estudio realizado por Bower et al. (2014) que investigaron el efecto de la Realidad Aumentada en la sociedad y la tecnología. Ahora, hay tantas inversiones y proyectos piloto en marcha, que se ha acelerado el proceso de refinar la tecnología y prepara a las empresas para mejorar sus procesos. Esta tecnología evita errores que podrían verse en varias etapas de fabricación, principalmente en el diseño del producto y las mejoras de productividad (García, 2020).

Con esta tecnología, los gráficos, los sonidos y la retroalimentación táctil se agregan al mundo natural. Es un concepto diferente que la realidad virtual que requiere habitar un entorno totalmente virtual. Utiliza el entorno natural existente y simplemente superpone información virtual sobre él. Dado que tanto el mundo virtual como el real coexisten armoniosamente, los usuarios de realidad aumentada experimentan sistemas de fabricación nuevos y mejorados donde la información virtual se utiliza como herramienta para brindar asistencia en las funcionalidades de

fabricación diarias. La realidad aumentada claramente implica la máxima utilización de la tecnología de TI para los beneficios de la fabricación. Ha habido algunas aplicaciones de AR principalmente en las siguientes áreas (Treviño & García, 2020).

Operaciones como instalación, montaje, cambio de herramientas de maquinaria, etc.

Mantenimiento y asistencia remota para reducir los tiempos de ejecución, minimizar los errores humanos y enviar los análisis de rendimiento relevantes a los gerentes de mantenimiento.

Formación tanto para personas con experiencia como para nuevos técnicos al inicio de su curva de aprendizaje.

Control de calidad que permita comprobar si los artículos producidos respetan o no los mejores estándares de fabricación.

Gestión de la seguridad poniendo a disposición las herramientas para gestionar el riesgo y la seguridad de los operarios y equipos que trabajan en las instalaciones.

Diseño y visualización en el suministro de herramientas que mejoren el diseño y la creación de prototipos.

Logística para mejorar la eficiencia de las operaciones de gestión de almacenes y soporte logístico a los operadores durante las operaciones de navegación interior y almacenamiento de cosecha.

Minería de datos

El big data ha sido generado continuamente por todo lo que hay en el entorno. Cada proceso digital y el intercambio de redes sociales producen datos. Los sistemas, sensores y dispositivos móviles los transmiten. El big data ha llegado de múltiples fuentes a una velocidad, volumen y variedad alarmantes (Dewan & Sekhari Seklouli, 2020). Para extraer un valor significativo de big data, existe la necesidad de una potencia de procesamiento óptima, capacidades de análisis y habilidades de gestión de la información. Ramirez & Sánchez (2020), revisaron ocho teorías que pueden ser utilizadas por los investigadores para examinar y aclarar la naturaleza del impacto de los big data en la sostenibilidad de la cadena de suministro, y presentan preguntas de investigación basadas en esta revisión.

Sin embargo, estos términos se pueden usar indistintamente, de manera que Wu et al., (2014) investigaron técnicas factibles de gestión de big data. Sowmya & Suneetha, (2017) presentaron una taxonomía para la literatura de big data y proporcionaron un extenso análisis introductorio. Del mismo modo, Jalali et al., (2020) proporcionaron a los lectores que llevan a cabo una revisión oportuna sobre big data y su tecnología relevante. Utilizaron diferentes algoritmos para la optimización del análisis de datos aplicables a diferentes tipos de áreas y datos relacionados. Algunos de los investigadores como Massaro et al., (2019) concentraron su investigación en la integración de sistemas desde el enfoque desde la eficacia de la gestión de datos y los procedimientos de toma de decisiones.

Internet de las cosas

El internet de las cosas (IoT) es la interconexión de dispositivos físicos, vehículos, edificios y otros elementos integrados con electrónica, software, sensores, actuadores y conectividad de red que permiten a estos objetos recopilar

e intercambiar datos. Consta de cuatro capas principales: capa de percepción, capa de red, capa de soporte y capa de aplicación según lo descrito por Leloglu (2017). En 2013, la Iniciativa sobre internet de las cosas (IoT-GSI) definió el IoT como "la infraestructura de la sociedad de la información". (Informe Intel IOT 2016). El IoT permite que los objetos se detecten o controlen de forma remota a través de la infraestructura de red existente, creando oportunidades para una integración más directa del mundo físico en los sistemas basados. Sasikala et.al (2017) proporcionó una revisión exhaustiva sobre IoT y las respectivas contramedidas.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Al tener en cuenta que este proyecto es una monografía se tomó como base lo expuesto por Hernández et al, (2014) por lograr un entendimiento de la metodología apropiada para esta investigación. Inicialmente la metodología fue desarrollada a partir de una investigación de tipo descriptiva con enfoque cualitativo bajo la implementación del método inductivo; esto debido a que se requirió desarrollar una revisión documental de cada objetivo propuesto, esto con el fin de obtener material literario suficiente; posteriormente este material fue revisado bajo un proceso de lectura y selección de información que aportará a la investigación; con la información seleccionada se pasó de desarrollar un proceso de descripción de las características de la información relevante al ir de la información general a la particular.

Con el objetivo de facilitar el proceso, de igual forma se llevó a cabo una serie de etapas con sus respectivas actividades, las cuales se describen a continuación.

Etapas 1: Identificación de procesos de la Industria 4.0 aplicados a la construcción en Bucaramanga.

- Identificación de los procesos de construcción convencional
- Identificación de los procesos aplicados en la industria 4.0
- Identificación de los procesos de la Industria 4.0 aplicados a la construcción en Bucaramanga.

Etapas 2: Establecimiento de acciones de mejora para la aplicación de construcción 4.0

- Identificar estado de los procesos inherentes en la construcción 4.0 aplicados mediante una encuesta.
- Establecer las falencias mediante el análisis de los resultados de la encuesta
- Establecer las acciones de mejora adecuadas para la construcción 4.0 en Bucaramanga

Etapa 3:

- Realizar busque documental
- Seleccionar la documentación
- Proponer el material de mejora

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Como parte de proceso investigativo se desarrolló una revisión documental de la literatura disponible, de la manera que esto permitiese la identificación de la información. La herramienta empleada para la selección de la información fue Google Académico, plataforma de google enfocada a los procesos de investigación, en esta se emplearon distintas palabras clave que permitieran una búsqueda asertiva de la información que se necesitaba. Dentro de las palabras claves se empleó: Industria 4.0 en Construcción; pasos de proceso de construcción, tecnologías aplicadas a la construcción en la industria 4.0; oportunidades y desafíos de la Industria 4.0 en la construcción; Industria 4.0 en Colombia; Industria 4.0 en Bucaramanga; industria 4.0 aplicada a procesos de construcción en Colombia y Bucaramanga.

Dentro de esta búsqueda documental el rango de búsqueda fue inicialmente entre 2018 a 2021, posteriormente se amplió en rango de búsqueda a 2015 a 2021 y finalmente se tomó en una ventana de revisión de 2011 a 2021, esto con el fin de identificar de manera inicial lo más reciente y con las ampliaciones en tiempo posteriores lo que se ha desarrollado en los últimos 6 a 10 años a nivel nacional internacional y regional. Todo esto para tener una visión clara y amplia de todo el desarrollo evolutivo de investigación que se ha llevado a cabo en los últimos años.

Dentro de los documentos revisados se tuvo en cuenta artículos, y trabajos de grado, maestría y especialización, que estuviesen disponibles para su lectura; también tuvo en cuenta que el título contuviese palabras como industria 4.0 y construcción. Una vez se obtuvo información del documento, se leyó el resumen para establecer si el documento contenía información relevante para el proyecto.

Por último, se procedió a la lectura del documento, se extrajo y se clasificó la información de dicho documento para que permitirá cumplir con el desarrollo de los objetivos.

5. RESULTADOS

5.1. IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS INHERENTES A LA I4.0 EN CONSTRUCCIÓN

En esta sección del trabajo se presentan los procesos de construcción convencional llevada a cabo para los edificios en forma general, una identificación de la aplicación de la industria 4.0 en Colombia y una encuesta en la que se indagó con base en la información proporcionada por 30 de construcción, el nivel de preparación y de implementación de las herramientas que se aplican a la construcción en Bucaramanga.

5.1.1. Identificación de los procesos de construcción convencional

Al tener en cuenta una revisión documental que tomó como base los trabajos realizados por distintos autores. A continuación, se presentan los pasos de la construcción de forma convencional.

Cimentación

La cimentación es un grupo de elementos estructurales y su misión es transmitir las cargas de la construcción o elementos apoyados a este al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales. En la Figura 3 se presentan los tipos de cimentación identificados a partir de los expuesto por (Yepes Piqueras, 2019).

Figura 3. Tipos de Cimentación



Fuente: (Yepes Piqueras, 2019)

Tabla 1. Tipos de Cimentación

Tipo de cimiento directo	Elementos estructurales en los que se emplea
Zapata Aislada	Pilar aislado, interior, medianero o de esquina
Zapata Combinada	Dos o más pilares contiguos
Zapata Corrida	Alienaciones de tres o más pilares o muros
Pozo de Cimentación	Pilar aislado
Emparrillado	Conjunto de pilares y muros distribuidos, en general en retícula
Losa	Conjunto de pilares y muros

Fuente: (Yepes Piqueras, 2019)

La cimentación consta de dos partes, el elemento estructural encargado de transmitir las cargas al terreno, o cimiento, y la zona del terreno afectada por dichas cargas, o terreno de cimentación. La cimentación debe resistir las cargas y sujeta la estructura frente a acciones horizontales como el viento y el sismo, conservando su integridad. La interacción entre el suelo y la estructura depende de la naturaleza del

propio suelo, de la forma y tamaño de la cimentación y de la flexibilidad de la estructura.

Fases Importantes de la Cimentación

Estudio de suelos: Se debe desarrollar un estudio de la estructura del tipo de suelo que se encuentra en el lugar en el que se desarrollará la construcción de forma que se identifiquen características comportamentales ante la lluvia, para evitar potenciales inundaciones, acumulaciones de agua por desplazamiento de corrientes de agua y humedades, que en un futuro se conviertan en un problema para la edificación que se va a construir ; se debe conocer la presencia de resistencia ante los movimiento de masa a partir de los temblores

Selección de los Materiales: Una vez se logre un buen proceso de base para el terreno, se deben tener en cuenta los materiales y su calidad, de manera que se pueda ofrecer una alta calidad a los cimientos de la construcción, de manera que durante el proceso se asegure la vida de los profesionales de la construcción y la duración de la obra. Esto se logra con un proceso de comparación no solo de precios sino a su vez, identificación de la calidad de los materiales que sean certificados.

Estructura

Es un conjunto estable de elementos resistentes de una construcción con la finalidad de soportar cargas y transmitir las, para llevar finalmente estos pesos o cargas al suelo. Esto es, un conjunto capaz de recibir cargas externas, resistirlas internamente y transmitir las a sus apoyos. Terminados los procesos de excavación y cimentación iniciales de proceder a generar las bases estructurales, mediante un sistema de vigas de cimentación, las cuales se diseñan y se entrelazan de forma,

que se dé un excelente soporte base a la edificación. Una vez se logra esta estructura de vigas de acero, se rellena con concreto.

Con la base de rectángulo creada se procede a diseñar y colocar con base de concreto las columnas de soporte del edificio con armazón de vigas de acero y refuerzo con concreto y pernos de sostenimiento. Se instalan las vigas de soporte vertical para y se procede a colocar la placa de cada piso con un enrejado inicial que se rellena con cemento para y se colocan las bases de soporte con vigas de acero y refuerzo de concreto para cada piso y placa que se desarrolle. Para acceder a los pisos se establecen los espacios en los que irán las escaleras de acceso a cada piso.

Instalaciones Técnicas

Las instalaciones técnicas son unidades complejas de uso especializado en el proceso productivo (edificaciones, maquinaria, material, piezas o elementos, incluidos los sistemas informáticos que, aun siendo separables por naturaleza, están ligados de forma definitiva para su funcionamiento). Una vez se termine con el proceso de creación de la estructura y de paredes, se procede a las instalaciones de los elementos técnicos de cada piso, instalaciones y tomas de redes eléctricas, telefónicas, tuberías.

Acabados

De este proceso hacen parte los revestimientos o recubrimientos a todos aquellos materiales que se colocan sobre una superficie de obra negra. Es decir, son los materiales finales que se colocan sobre pisos, muros, plafones, azoteas, obras exteriores o en huecos y vanos de una construcción.

5.1.2. Identificación de los procesos de la Industria 4.0 aplicados a la construcción en Bucaramanga

Estado de la industria 4.0 en Colombia

La industria 4.0 ha generado grandes cambios por las nuevas tecnologías y formas de ver el mundo. Los cambios se deben a inmensas transformaciones que afectan la productividad, los procesos económicos, sociales, creando retos para los gobiernos, empresas y personas (De Jesús et al, 2019). A continuación, se presentan algunos trabajos realizados desde una revisión documental, en la que se presenta el trabajo realizado por Galeano (2019), desarrolló una investigación en la que se analizó el impacto de los principios de la cuarta revolución industrial en la productividad de las empresas públicas colombianas. Se hizo una clasificación de las empresas según los diferentes sectores a los que pertenecen las empresas y se utilizó una técnica de muestra no probabilística, donde se escogieron 30 proyectos y 19 empresas públicas nacionales, a las que a través de fuentes primarias y secundarias se les indagó sobre la aplicación de la industria 4.0. Los resultados de la investigación muestran que la industria 4.0 no ha crecido en Colombia, pero hay avances importantes en algunos sectores. Los avances más utilizados son Big Data y Cloud Computing. La conclusión de esta investigación muestra que la cuarta revolución industrial en las empresas públicas colombianas a nivel nacional se encuentra en etapa inicial, pero hubo grandes cambios en la productividad de estas empresas

La industria 4.0 trae grandes beneficios a la sociedad y a la economía. Las empresas han analizado que las entidades adquieren valor, eficiencia y optimizan sus beneficios con la implementación de estas nuevas tecnologías (Motta et al., 2017). El estado colombiano ha realizado grandes avances en materia de protección

de datos y privacidad, como lo demuestra la Ley 1266 de 2008 y la Ley 1581 de 2012, pero existe una gran necesidad de adaptarse al contexto internacional como lo expone Silva et al (2019) en su trabajo sobre I4.0.

- Encuesta industria 4.0 a empresas del sector de la construcción

Al identificar que existe poca información documentada a cerca de la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 en el sector de la construcción de Bucaramanga y que la implementación sigue bajo un proceso lento, se diseñó y realizó una encuesta a 30 empresas del área de la construcción. La encuesta cuenta con 30 preguntas dirigidas a identificar las tecnologías y herramientas de la Industria 4.0 que actualmente emplean en sus procesos de construcción, bajo un proceso de migración hacia la Construcción 4.0. en la Tabla 2 se muestran las empresas que participaron en la encuesta.

Tabla 2. Empresas de la Construcción Encuestada

Empresas Encuestadas		
Nº	Nombre de la Empresa	Dirección
1	Sumas Construcciones S.A.S.	Cra. 28 #49-27
2	OTACC S.A.	Cl. 49 # 27A - 34
3	DISCON LTDA	Cra. 25 #12-46
4	Constructora Valderrama	Carrera 29 # 45-45
5	Constructora JK Salcedo SAS	Cra. 25 #3-36
6	Muisca Construcciones	Cra 29 # 53-20
7	Coinvecol Constructora	Cra. 25 # 35-71
8	Consuegra Santos S.A.	Cl. 36 #34-42
9	Made S.A.	Calle 36 #31-39
10	Marval Construcciones	Cra. 29 No 45-45
11	Mardel Constructora	Cl. 70 #40W – 176
12	Pascal Ingenieros	Calle 51 # 35-28
13	Conaring	Cra 29 # 50-45
14	Interobras de Santander S.A.S.	Carrera 25 #31-04
15	Cocinco Constructora Cinco Estrellas S.A.S	Cra. 38 #46-48
16	Ardisa Centro de la Construcción	Cra. 17C # 60-30

17	Urbacolombia S.A.S.	Cl. 54 # 23-48
18	Santander S.A.S	Cl. 106 #23A - 34
19	Proyectos y Servicios Ltda	Cra. 22 # 21-26
20	Construcciones y Reformas de Colombia S.A.S	Calle 105A # 12 - 65
21	E&P Ingeniería SAS	Calle 41 # 27-23
22	Innova LTDA	Cra 32 #20-26
23	Connar Construcciones & Arquitectura SAS	Calle 36 27 45
24	Rioca Ingeniería S.A.S	Cl 74 53-42
25	Urbanart Ingeniería S.A.S	Cra. 51 # 50-100
26	Gradex Ingeniería S.A.	Cl. 31 #22-59
27	RBC Inversiones y Construcciones	Calle 135C # 9A-70
28	Constructora Sky Company SAS	Cl. 36 #11-16
29	Ramírez Arenas S.A.S	Cl 73 42W 19
30	Pascal Ingenieros	Calle 51 # 35-28

Fuente: Autor

El modelo de encuesta está dividido en 2 partes, en la sección A se solicita información básica de cada empresa encuestada, se consultó por el nombre de la empresa, correo electrónico y sexo del encuestado (ver Tabla 3) y las preguntas se muestran en la Tabla 4. Para establecer el nivel de preparación e implementación de la empresa se empleó una escala tipo Likert para dar una valoración a cada pregunta, de manera que siendo 5: muy alto, 4: alto, 3: medio, 2: bajo y 1: muy bajo, esto con el fin de identificar el estado actual de esta potencial aplicación. La encuesta se puede ver en el Anexo A.

Tabla 3. Información Básica del Encuestado

Sexo: Masculino <input type="checkbox"/> Femenino <input type="checkbox"/>	Correo:	Nombre de la Empresa
---	---------	----------------------

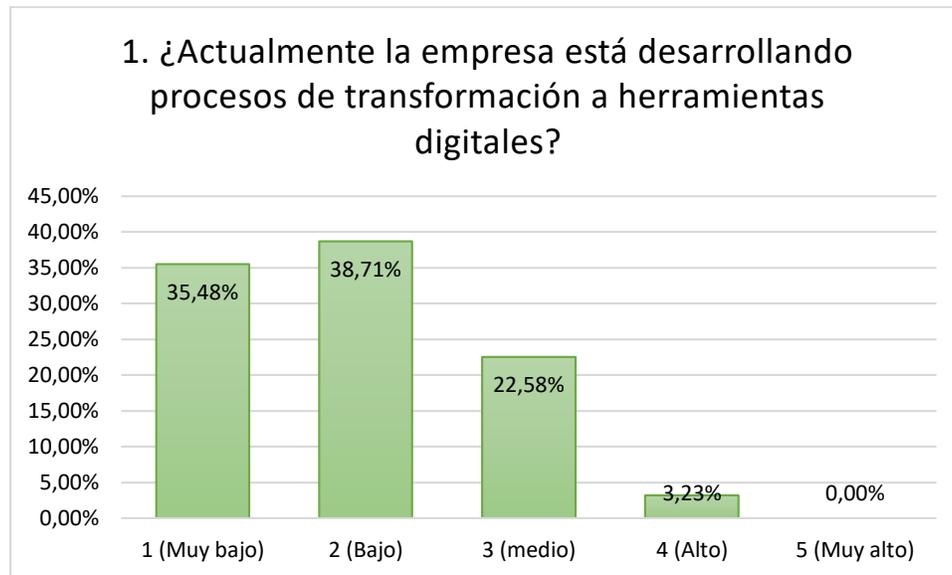
Fuente: Autor

Tabla 4. Preguntas de la Encuesta

FASE1: EVALUACIÓN DE NIVEL DE CONOCIMIENTO Y PREPARACIÓN DE LA EMPRESA	5	4	3	2	1
1. ¿Actualmente la empresa está desarrollando procesos de transformación a herramientas digitales?					
2. ¿La alta dirección de la empresa conoce el concepto de Industria 4?0 y su potencial implementación en procesos de construcción?					
3. ¿Se han llevado a cabo actividades de capacitación para el personal en herramientas 4?0 para la construcción?					
4. ¿La empresa cuenta con asesor en el manejo de herramientas 4?0 para procesos de migración a construcción 4.0?					
5. ¿La maquinaria de la empresa permitiría la migración progresiva hacia el uso de herramientas 4?0 para la construcción?					
6. ¿La empresa cuenta con un plan estratégico para adquisición de software y equipos, que le permita desarrollar procesos de migración hacia herramientas tecnológicas para construcción 4?0?					
7. ¿Considera que la empresa está capacitada tecnológicamente para las nuevas tendencias del mercado y las necesidades de los clientes?					
8. ¿Actualmente su empresa cuenta con la capacidad de monitorear procesos en tiempo real?					
FASE 2: PROCESOS DE IMPLEMENTACIÓN PARA CONSTRUCCIÓN 4.0					
9. ¿La empresa emplea análisis de datos (Big Data)?					
10. ¿Cuenta la empresa con procesos de simulación para diseño?					
11. ¿Implementa la empresa herramientas de realidad virtual?					
12. ¿Aplica actualmente tecnologías de realidad aumentada?					
13. ¿Cuenta la empresa con implementación de ciberseguridad?					
14. ¿La empresa emplea herramientas de impresión y escaneo 3D?					
15. ¿La empresa hace uso de herramientas tecnológicas Cloud Computing?					
16. ¿Cuenta la empresa con tecnología de Robótica?					
17. ¿Desarrolla la empresa procesos de inteligencia artificial?					
18. ¿Su empresa aplica herramientas para comunicación Máquina a Máquina? (M2M)					
19. ¿Aplica su empresa el desarrollo de Interfaces Hombre Máquina? (HMI)					
20. ¿Su empresa implementa herramientas tecnológicas de Internet de las Cosas? (IoT)					
21. ¿Su empresa implementa tecnología de Instrumentación Inteligente? (Sonorización)					
22. ¿La empresa implementa herramientas tecnológicas de radiofrecuencia (RFID)?					
23. ¿La entidad implementa tecnologías para Sistemas de Localización en Tiempo Real (RTLS)?					
24. ¿Conoce su empresa nanotecnología para aplicar a la construcción?					
25. ¿Emplea la empresa sistemas de robots autónomos?					
26. ¿La empresa desarrolla procesos de prestación de bienes mediante Dispositivos Móviles?					
27. ¿Emplea la empresa Comunicaciones Inalámbricas?					
28. ¿La empresa desarrolla estrategias de Mercado Digital?					
29. ¿Aplica la empresa herramientas E-Learnig?					
30. ¿Actualmente la empresa herramientas aplica E-commerce?					
31. ¿Recuerda otra herramienta para Construcción 4?0 que aplique la empresa?					

Fuente: Autor

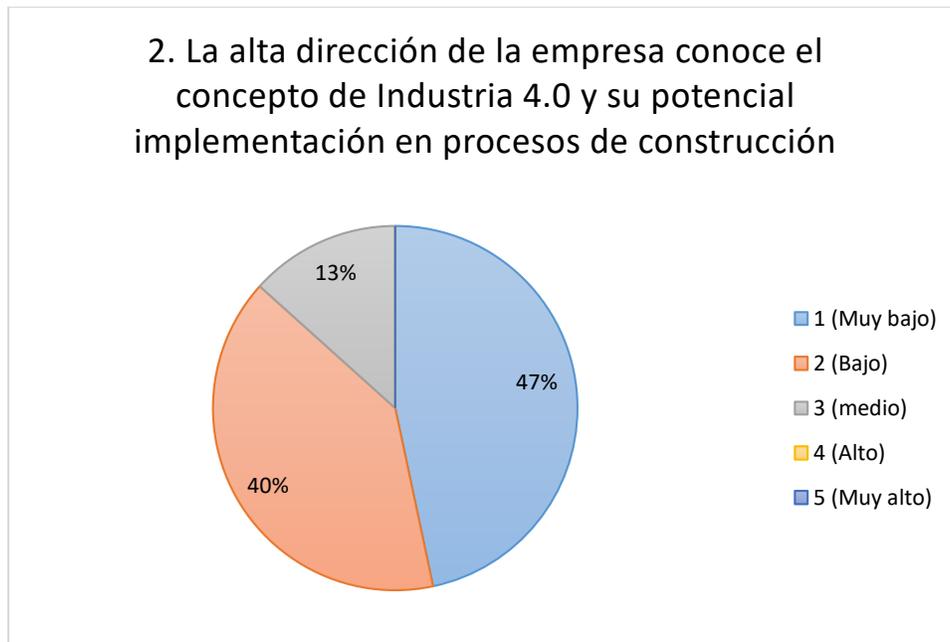
Figura 4. Desarrollo de Procesos de Transformación Digital



Fuente: Autor

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la encuesta y su respectivo análisis, lo que permitió establecer el nivel de preparación y de adopción con el que cuentan las empresas constructoras participantes en la encuesta. Al consultar a cerca de si la empresa está en el desarrollo de procesos de transformación a herramientas digitales, en la Figura 4 se muestra el 35.48% (11) de las empresas considera que se encuentra en nivel 1 (muy bajo) en el desarrollo de procesos, de transformación digital; el 38.71% (12) considera que esté en un nivel 2 (bajo); el 22.58% (6) respondió que su empresa está en un nivel 3 (medio); un 3.23% (1) se encuentra en nivel 4 (alto) del proceso de transformación; finalmente ninguna empresa estimó que se encuentre en el desarrollo de procesos de transformación digital de 5 (muy alto).

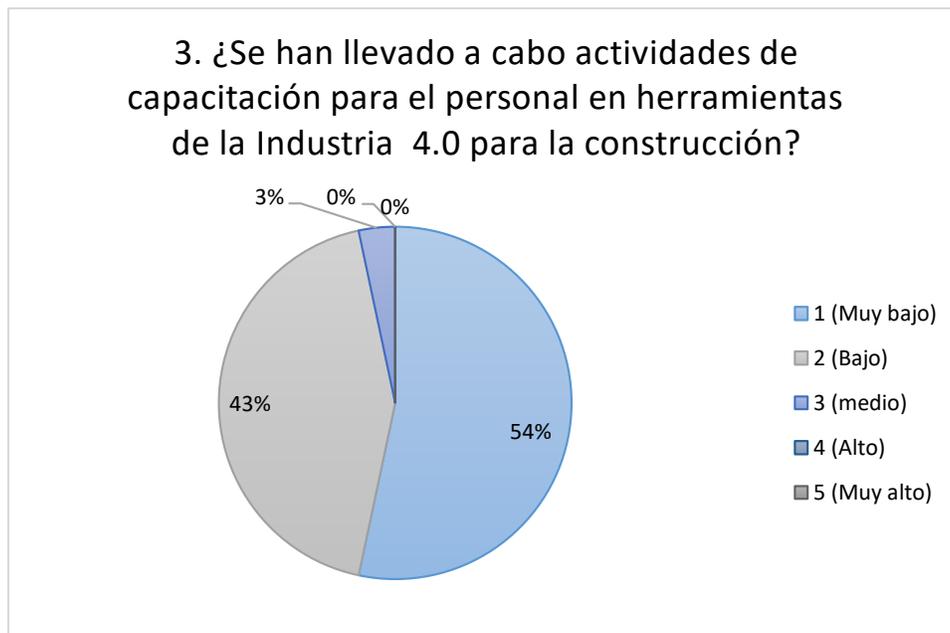
Figura 5. Conocimiento del concepto Industria 4.0 en la Construcción



Fuente: Autor

Al consultar a las empresas acerca de si la alta gerencia de la entidad conoce el concepto de Industria 4.0 y su potencial dirigido a procesos de construcción, en la Figura 5 se visualiza que el 47% (14) respondió con un nivel 1 (muy bajo); el 40% (12) tomó la opción 2 (bajo); el 13% (4) considera que se encuentra en un nivel 3 (medio). Cabe anotar que los niveles alto y muy alto no se tomaron en consideración.

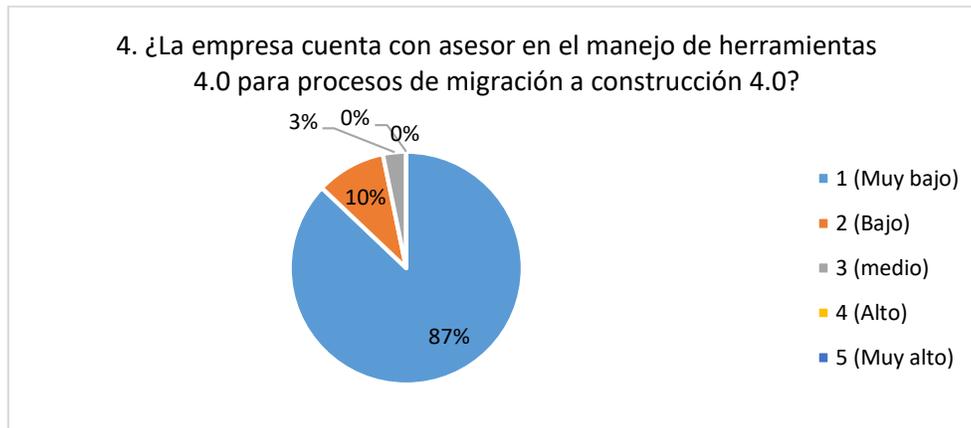
Figura 6. Capacitaciones en herramientas 4.0 para la Construcción



Fuente: Autor

Como muestra en Figura 6 son pocas las empresas que actualmente han desarrollado actividades referentes a capacitación de personal en herramientas de la Industria 4.0 para construcción de manera que el 54% (16) respondió que se encuentra en nivel 1 (muy bajo); en nivel 2 (bajo) se encontró un 43% (13) de las empresas y un 3% (1) se catalogó en un nivel 3 (medio).

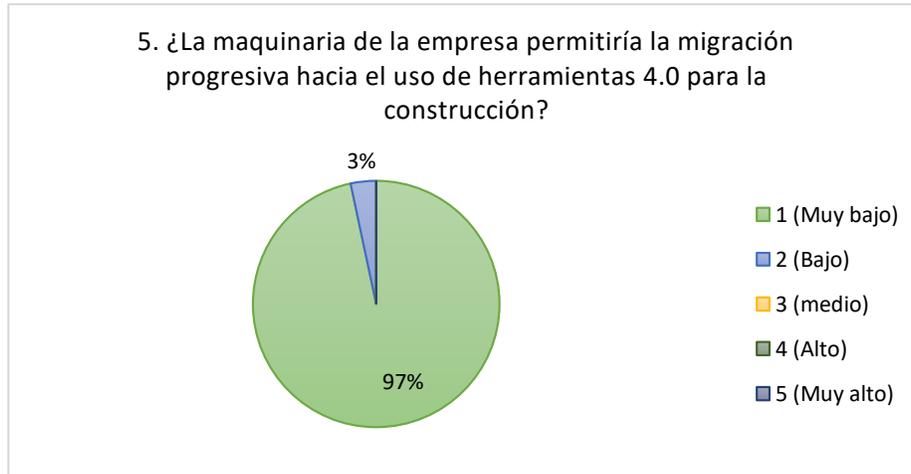
Figura 7. Cuenta con Asesor de Migración a Construcción 4.0



Fuente: Autor

Al indagar a cerca de las empresas que cuentan con asesor en manejo de herramientas digitales para migración a construcción 4.0, se pudo establecer que el 87% (27) consideran que este aspecto está en un nivel de 1 (muy bajo); el 10% (3) respondió estar en un nivel de 2 (bajo); y un 3% (1) en nivel 3 (medio). Las otras opciones no fueron seleccionadas por los encuestados.

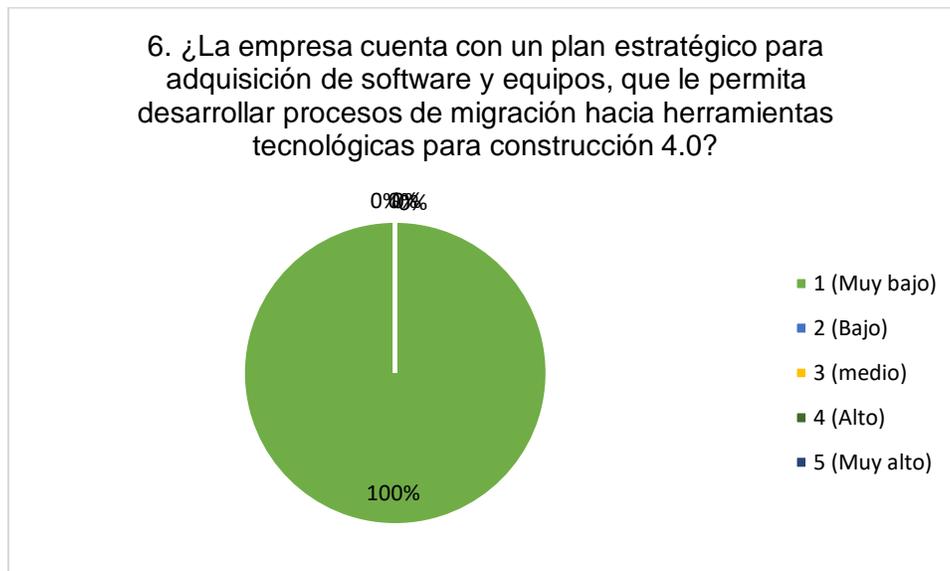
Figura 8. La Maquinaria Permitiría la Migración Progresiva hacia la Construcción 4.0



Fuente: Autor

En la Figura 8 se muestra el resultado de la encuesta desarrollada a las empresas constructoras acerca de si la entidad cuenta con maquinaria que permitiría la potencial migración progresiva de sus equipos hacia la aplicación de herramientas para construcción 4.0, en esta las empresas consideran que se encuentran en nivel 1 (muy bajo) en un porcentaje de 96.67% (29) y el 3.33% (1) dieron razón de estar en nivel 2 (bajo).

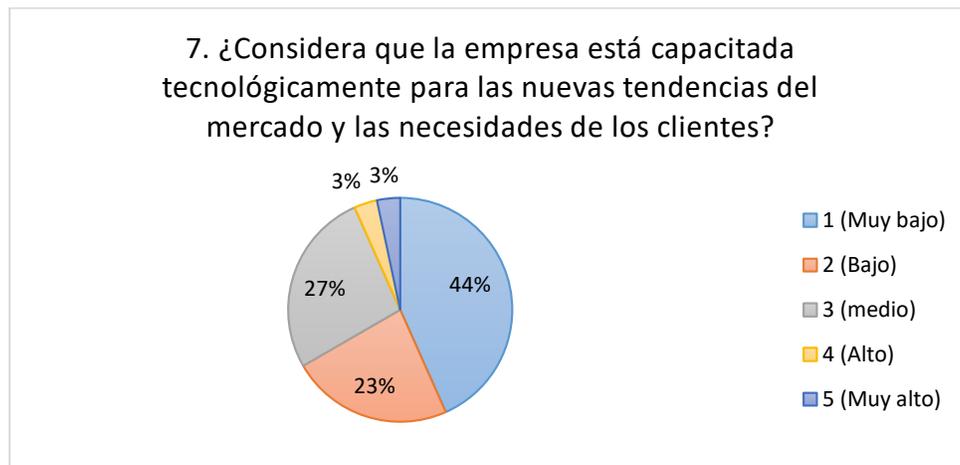
Figura 9. Plan Estratégico para Software y Equipos para Migración Hacia Construcción 4.0



Fuente: Autor

En la Figura 9 se muestra que, al consultar a las empresas acerca de si cuentan con un plan estratégico para la adquisición de equipos y software para la migración hacia el uso de herramientas para la implementación de tecnologías para la construcción 4.0, se pudo establecer de que se ha ido avanzando, ninguna empresa cuenta con planes dirigidos a ello, por esta razón el 100% (30) se encuentran en nivel 1 (muy bajo).

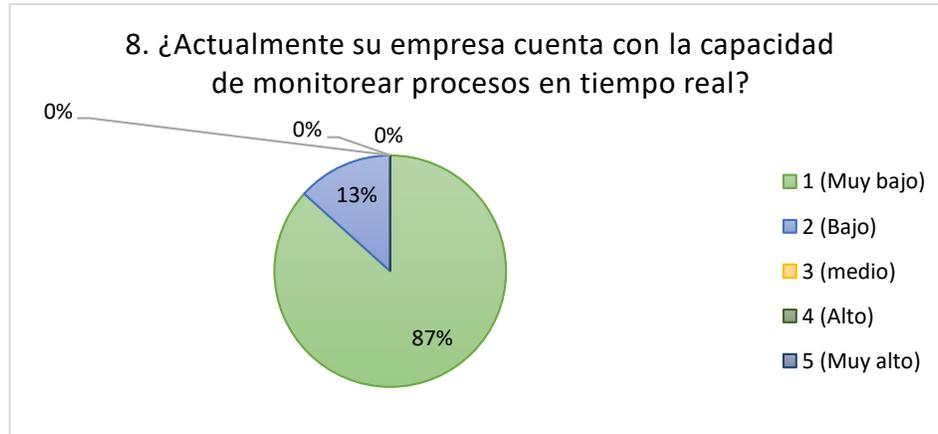
Figura 10. Capacitada Tecnológicamente para las Tendencias del Mercado y Clientes



Fuente: Autor

Al preguntar a los participantes acerca de si consideran que la empresa se encuentra tecnológicamente capacitado para las nuevas tendencias del mercado y las necesidades de los clientes, se pudo establecer que el 44% (13) se encuentra en nivel 1 (muy bajo); 27% (8) se encuentra en nivel 3 (medio); el 23% (7) considera que esta en nivel 2 (bajo); el 3% (1) considera que está en nivel 4 (alto) y 5 (muy alto).

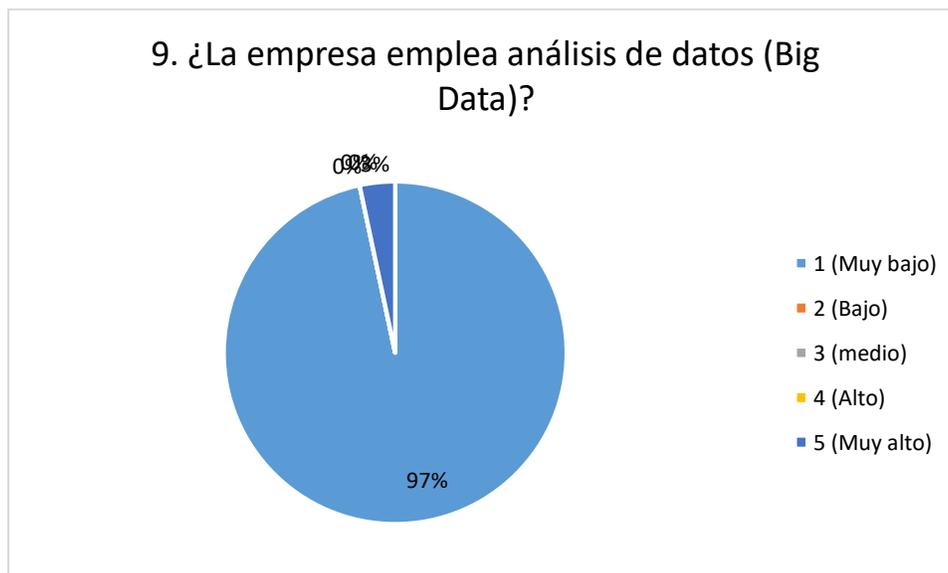
Figura 11. Capacidad de la Empresa para monitoreo en tiempo real



Fuente: Autor

En la Figura 11 se puede observar que las empresas de construcción no llevan a cabo en su mayoría procesos de monitoreo en tiempo real, esto debido a que el 87% (26) se encuentra en nivel 1 (muy bajo) y el 13% (4) seleccionó la opción de nivel 2 (bajo).

Figura 12. Realización de Análisis Big Data

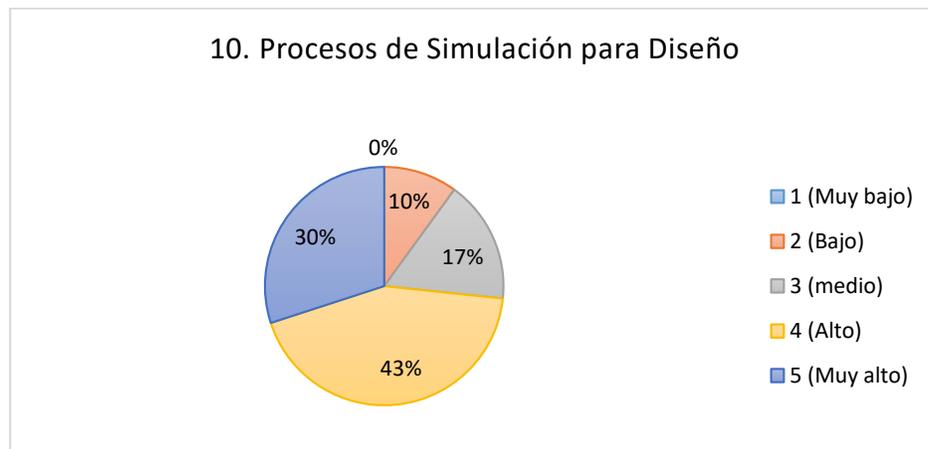


Fuente: Autor

Al consultar a la empresa acerca de si manejan en sus procesos de construcción herramientas para análisis Big Data, en la **Figura 13** el 97% (29) se

cataloga en nivel 1 (muy bajo) y el 3% (1) restante lleva a cabo este proceso para análisis.

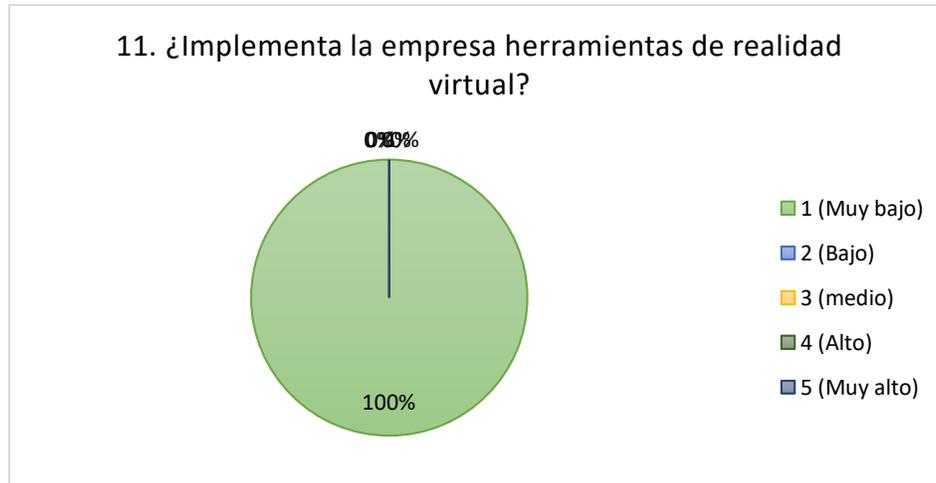
Figura 13. Procesos de Simulación para Diseño



Fuente: Autor

Al tener en cuenta los procesos de simulación para procesos de diseño de construcción se puede observar en la Figura 13 que el 43% (13) de las empresas encuestadas considera que se encuentra en nivel alto (4); el 30% (9) se cataloga en nivel 5 (muy alto); el 17% (5) selecciona la opción de nivel 3 (medio); el 10% (3) está en nivel 2 (bajo); y finalmente en nivel 1 (muy bajo) en un porcentaje de 0%.

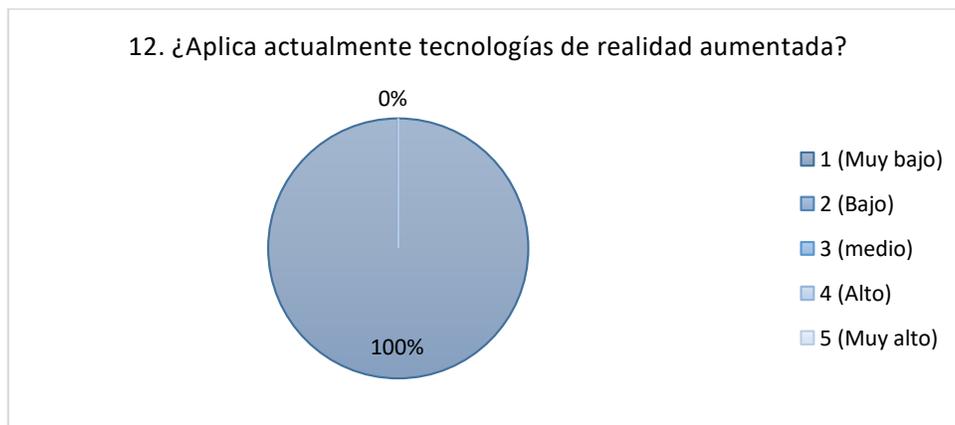
Figura 14. Implementación de Realidad Virtual



Fuente: Autor

En la Figura 14 se muestra que el 100% (30) de las empresas no desarrollan trabajos de realidad virtual, debido a que no cuentan con las herramientas realizar este tipo de actividades de construcción.

Figura 15. Aplicación de Realidad Aumentada

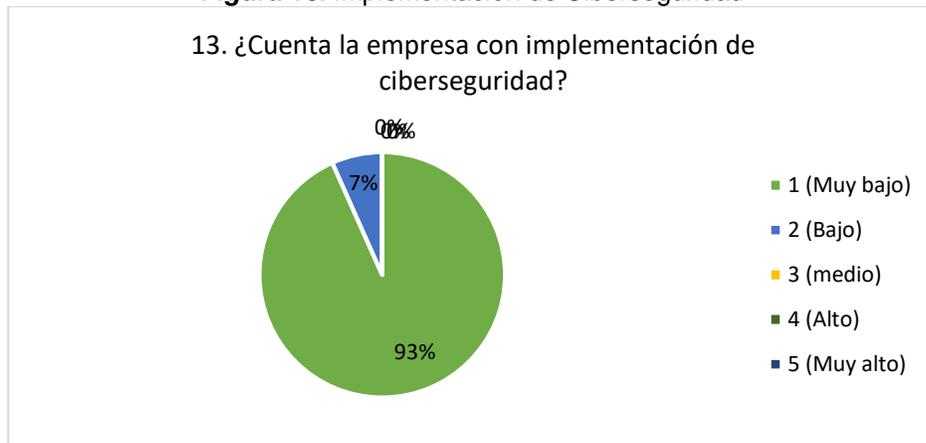


Fuente: Autor

Al indagar si las empresas desarrollan procesos construcción en los que apliquen herramientas de realidad aumentada, Figura 15 muestra que el 100% de

las entidades, no lleva a cabo el uso de esta tecnología, lo que la muestra en nivel 1 (muy bajo).

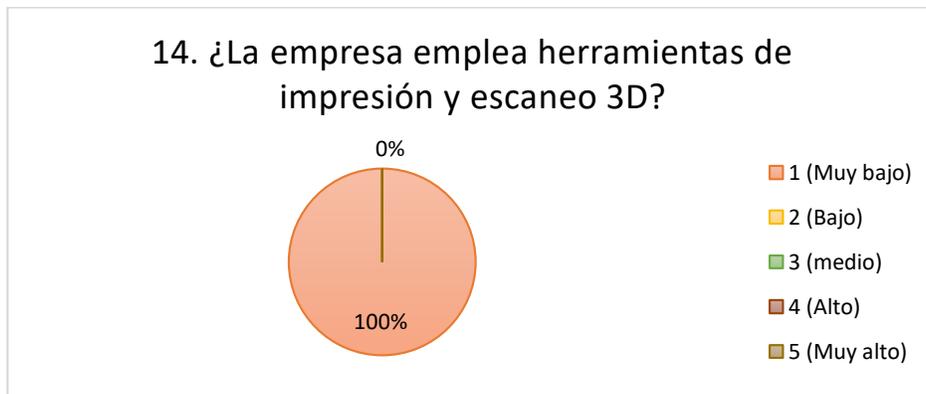
Figura 16. Implementación de Ciberseguridad



Fuente: Autor

Al consultar a las empresas sobre si emplean herramientas de ciberseguridad, como se muestra en la Figura 16, el 93% (28) se encuentran en nivel 1 (muy bajo) y 7% (2) que se encuentra en nivel 2 (bajo).

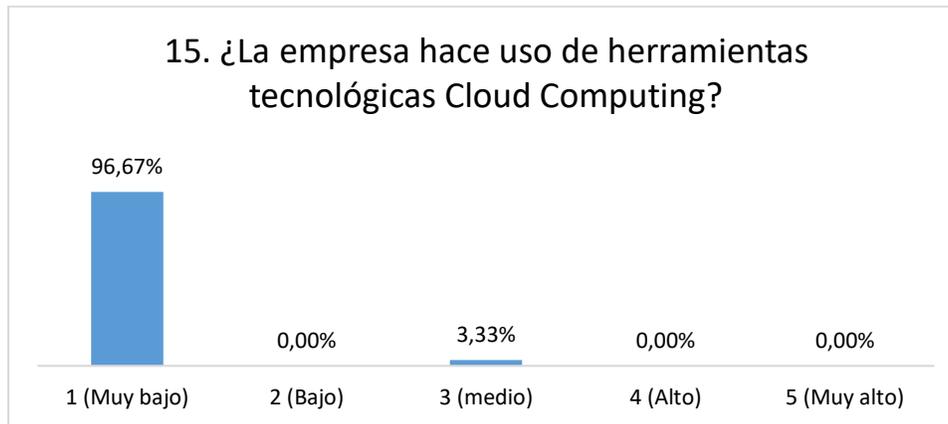
Figura 17. Emplea Herramientas de Impresión y Escaneo 3D



Fuente: Autor

En la Figura 17 se puede observar el 100% (30) de las empresas no emplean herramientas y equipos de impresión y escaneo 3D, lo que los muestra en nivel 1 (muy bajo).

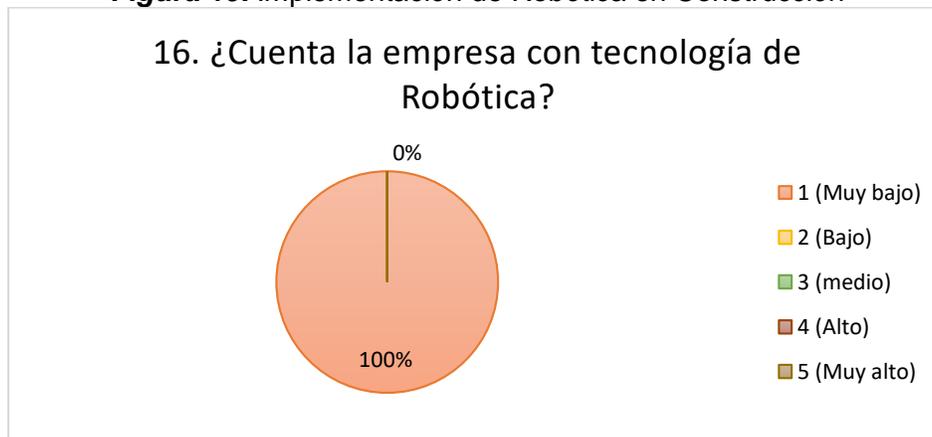
Figura 18. Uso de Herramientas Cloud Computing



Fuente: Autor

Al indagar a las empresas sobre el uso de tecnologías Cloud Computing, como se muestra en la Figura 18 que el 96.67% (29) se encuentran en nivel 1 (muy bajo), por otro lado, se puede constatar que el 3% (1) implementan herramientas de este tipo, lo que los coloca en nivel 3 (medio).

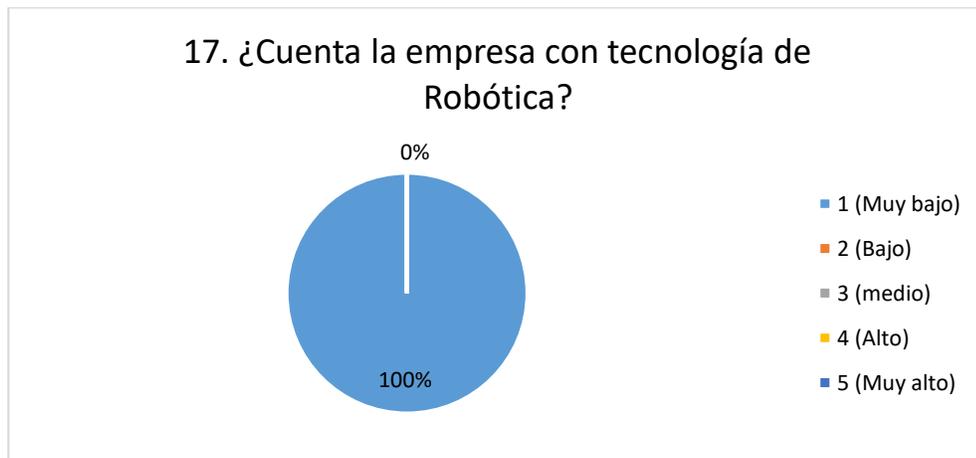
Figura 19. Implementación de Robótica en Construcción



Fuente: Autor

En la Figura 19 se observa que actualmente el 100% (30) de las empresas no llevan a cabo procesos de construcción realizados mediante tecnología que involucre robótica, de manera que se encuentran en nivel 1 (muy bajo)

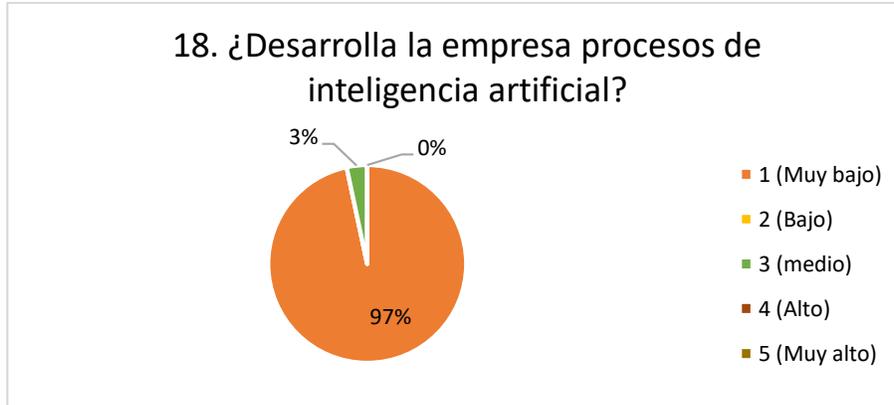
Figura 20. Cuenta la Empresa con Tecnología Robótica



Fuente: Autor

Al tener en cuenta el uso de herramientas tecnologías de la construcción 4.0 como la robótica, la Figura 20 muestra que las empresas no han incluido esta herramienta en sus procesos, de manera que el 100 (30) se encuentra en nivel 1 (muy bajo).

Figura 21. Implementación de Inteligencia Artificial

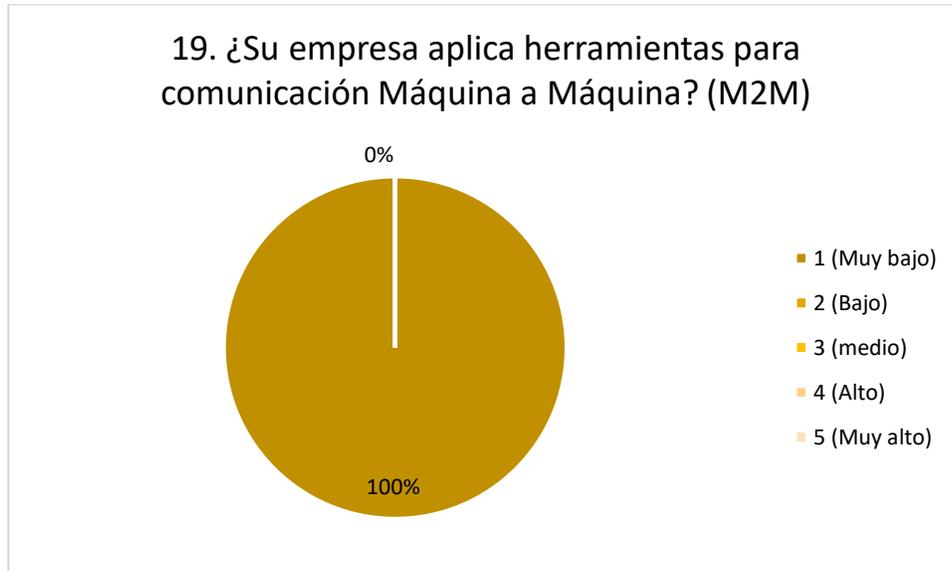


Fuente: Autor

En la Figura 21 se muestra que solo el 97% (29) se encuentran en nivel 1 (muy bajo) debido a que no implementa procesos de inteligencia artificial y solo un 3% (1) desarrolla procesos referentes a uso de esta herramienta de la industria 4.0, lo que muestra que se encuentra en nivel de 3 (medio).

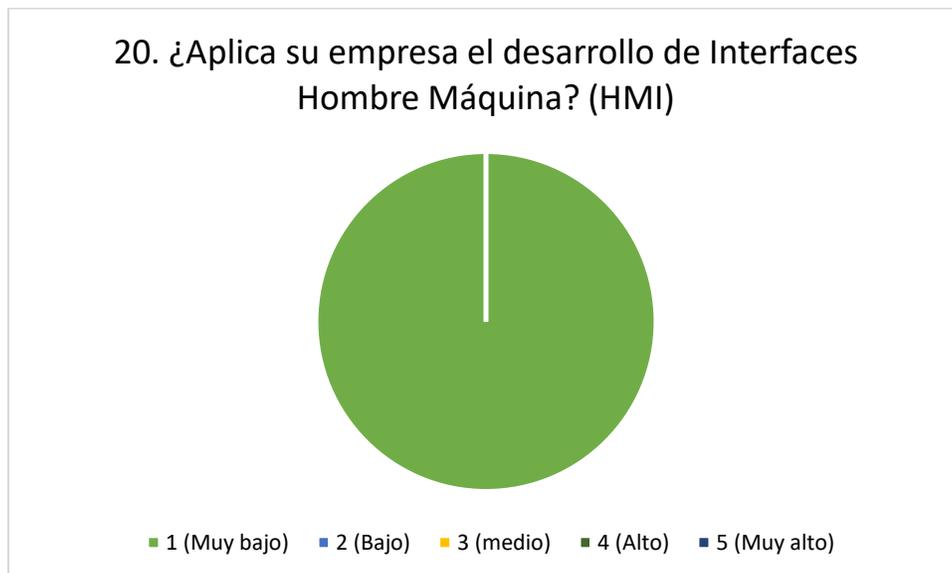
Al indagar a las empresas a cerca de emplear herramientas de comunicación máquina a máquina (M2M) para el desarrollo de procesos relacionado a construcción, en la Figura 22 se muestra que actualmente las entidades de construcción no desarrollan este tipo de actividades, lo que muestra como resultado un nivel de 1 (muy bajo).

Figura 22. Implementación de Comunicación Máquina a Máquina (M2M)



Fuente: Autor

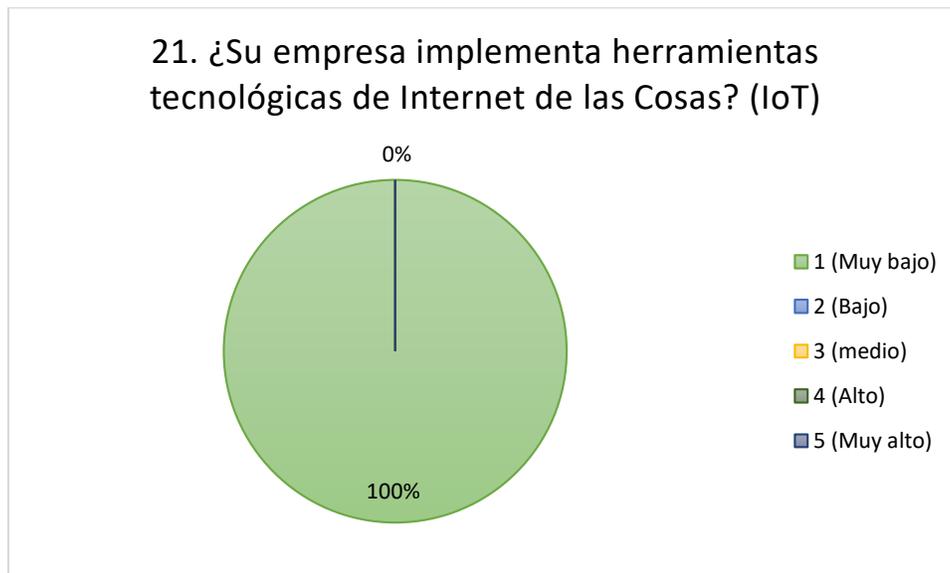
Figura 23. Implementación de Interfaces HMI



Al tener como base la información recolectada de la encuesta, se puede establecer como se muestra en la Figura 23, que las empresas no trabajan sus

procesos de construcción a partir interfaces HMI, la cuales permiten manipular dispositivos, robots y monitorear procesos mediante sistemas de sensores mediante un ordenador, lo que demuestra que el 100% de estas entidades se encuentran en nivel 1 (muy bajo).

Figura 24. Herramientas Tecnológicas IoT



Fuente: Autor

En la Figura 24 se muestra que las empresas, a pesar de contar con acceso a Internet, actualmente no desarrollan estrategias en las que se haga conexión entre plataformas, dispositivos electrónicos y sensores en sus procesos de construcción, de manera que el 100% (30) se encuentra en nivel 1 (muy bajo).

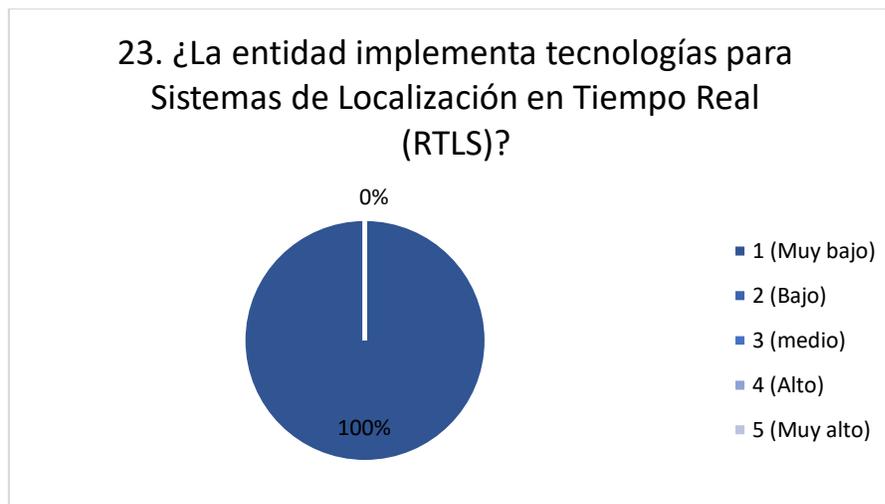
Figura 25. Implementación de Tecnología de Instrumentación Inteligente



Fuente: Autor

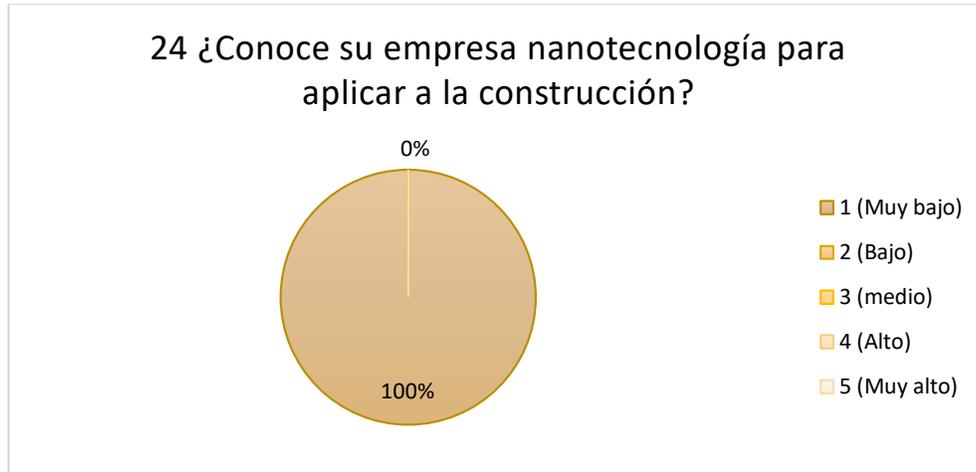
Al preguntar a las empresas a cerca de la implementación de sistemas de instrumentación inteligente mediante procesos de sonorización, se pudo constatar que el 100% (30) de los encuestados no desarrollan estas tecnologías, lo que los coloca en nivel 1 (muy bajo) como se muestra en la Figura 25.

Figura 26. Implementa Sistemas de Localización en Tiempo Real (RTLS)



Fuente: Autor

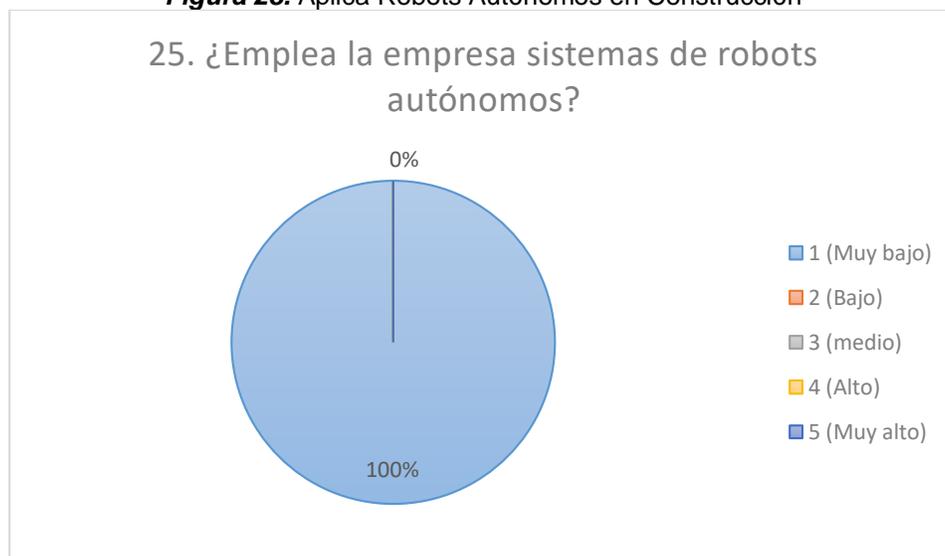
Figura 27. Aplicación de Nanotecnología en la Construcción



Fuente: Autor

Al tener en cuenta la Figura 27, las empresas no se encuentran actualmente en el desarrollo de procesos ligados a la construcción que se basen en la implementación de herramientas nanotecnológicas, lo que las cataloga en nivel 1 (muy bajo).

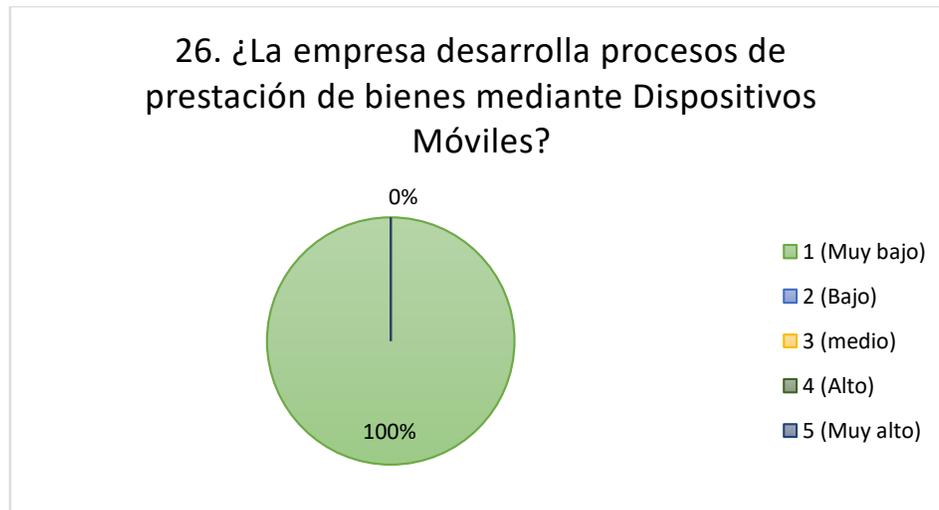
Figura 28. Aplica Robots Autónomos en Construcción



Fuente: Autor

Al investigar acerca de si las empresas constructoras emplean robots autónomos como drones para hacer monitoreo y toma de datos de los procesos de evolución de construcción, en la Figura 28 se muestra que actualmente el 100% (30) se encuentran en nivel 1 (muy bajo).

Figura 29. Prestación de Bienes y Servicios Mediante Dispositivos Móviles

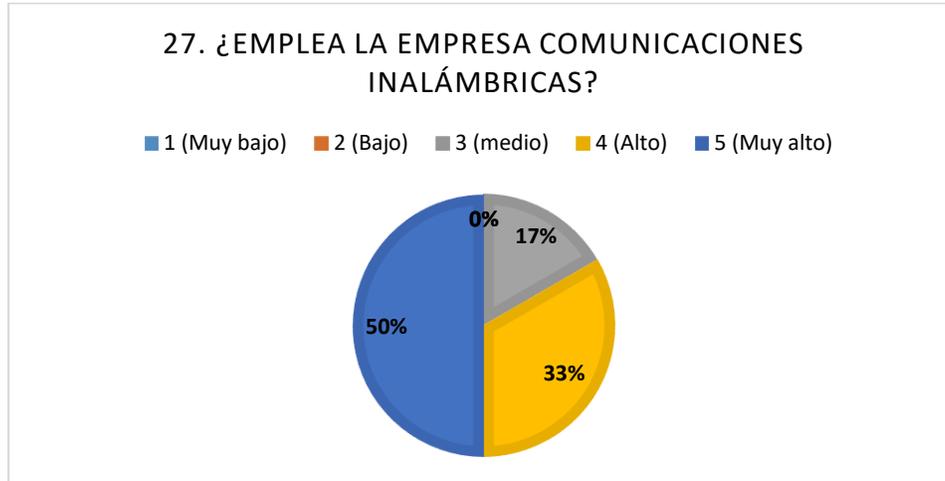


Fuente: Autor

Al consultar a la a empresas acerca de si se llevan a cabo procesos de prestación de bienes mediante dispositivos móviles, en los que se presente información del estado de la construcción o informes mediante aplicaciones Android y IOS, como se presenta en la Figura 29, el 100% (30) se cataloga en nivel 1 (muy bajo).

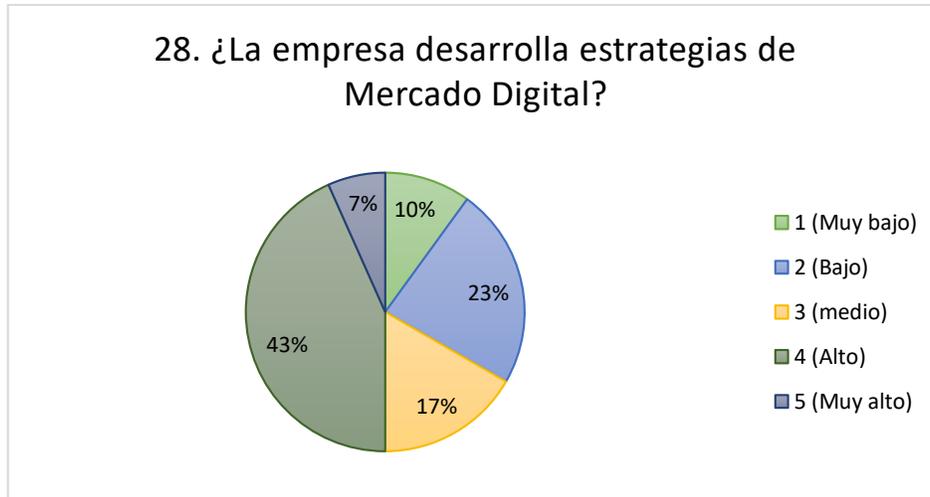
Al tener en cuenta la Figura 30 se puede inferir que el 50% (15) de las empresas emplean comunicaciones inalámbricas dentro de los procesos de construcción, ya sea para enviar mensajes e información sobre el avance de la obra o comunicaciones referentes a esta, lo que les permite identificarse con el nivel 5 (muy alto); otras empresas consideran que su nivel es 4 (alto) con un 33%; otros con un 17% (5) se colocan en nivel 3 (medio); ninguna considera que está en nivel 2 (bajo) o nivel 1 (muy bajo).

Figura 30. Uso de Comunicaciones Inalámbricas



Fuente: Autores

Figura 31. Aplicación de Estrategias de Marketing Digital

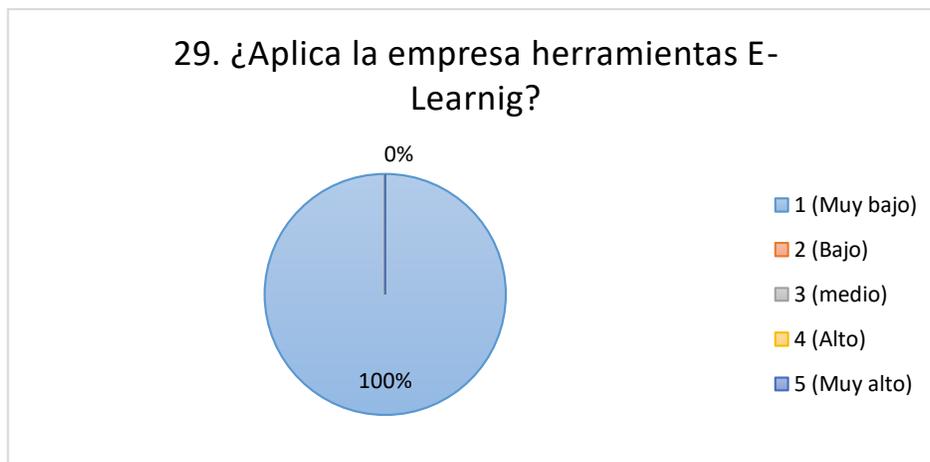


Fuente: Autor

Al indagar a las empresas a cerca de estrategias basadas en marketing digital para su negocio de construcción, el 43% (13) se encuentra en nivel 4 (alto), esto debido en parte a las acciones que se tomaron a partir de la emergencia nacional suscitada por el covid 19, en el periodo 2020 a 2021, y que aún continua, a pasar de la reactivación económica nacional. Dentro de las estrategias empleadas para mejorar la situación del sector se

desarrolló un mejor uso de las redes sociales como Facebook e Instagram, rediseño de página web y generar contenido para mantener el interés de inversionistas y clientes; de igual forma el 23% (7) selecciona la opción de nivel 2 (bajo); el 17% (5) considera que está en un nivel 3 (medio); el 10% (3) se identifica con el nivel 1 (muy bajo); y finalmente, el 7% (2) se catalogan en nivel 5 (muy alto).

Figura 32. Aplicación de E-learning



Al consultar a las empresas a cerca de la realización de procesos basado en herramientas E-Learning, como se observa en la Figura 32, el 100% (30) no desarrolla estas actividades debido a que desconocen la herramienta y sus beneficios.

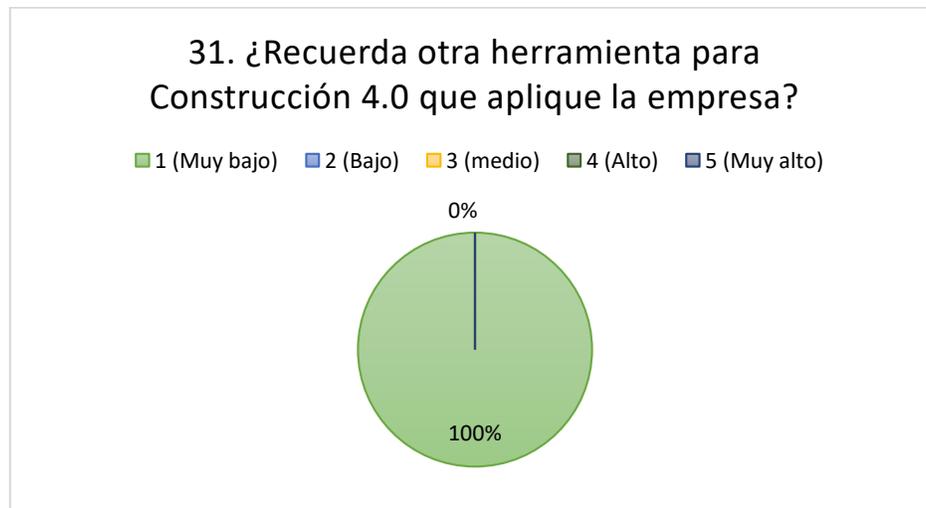
En la Figura 33 se puede ver que el 100% (30) de las empresas de construcción no implementan herramientas basadas en e-commerce, debido que desconocen la forma en que funciona. Esto los coloca en un nivel de 1 (muy bajo), respecto a el uso de esta estrategia.

Figura 33. Implementación de Estrategias E-Commerce



Fuente: Autor

Figura 34. Otra herramienta que use su empresa para Construcción 4.0



Fuente: Autor

La Figura 34 muestra que actualmente, además de las herramientas de la industrial 4.0 aplicadas a la construcción, no conocen o recuerdan alguna otra herramienta, además de las empleadas durante el transcurso de la entrevista, de manera que se encuentran en nivel 1 (muy bajo).

5.2. PROPUESTA DE ACCIONES DE MEJORA PARA PROCESOS PARA MIGRAR HACIA LA CONSTRUCCIÓN 4.0

Al tener en cuenta los resultados de la encuesta realizada a las 30 empresas de construcción a cerca de las herramientas, preparación e implementación hacia la construcción 4.0, se puede establecer que 97% de las empresas no cuentan con tecnologías para lograr la migración hacia la construcción 4.0 mediante herramientas de la cuarta revolución de la industrial denominada Industria 4.0.

Adicionalmente, el nivel de preparación de las empresas para implementar herramientas y tecnologías basadas en la Industria 4.0 se encuentra en un 35.48% de nivel muy bajo y el 38.71% bajo, solo el 3.23% ha desarrollado procesos de transformación a herramientas digitales; los resultados de la encuesta muestran que la alta dirección no conoce el concepto de Industria 4.0 en un 47% de un nivel muy bajo y 40% en bajo; además, las empresas no desarrollan procesos de capacitaciones a cerca de herramientas de la Industria 4.0 en un porcentaje de 54% muy bajo y 43% bajo; el 87% de nivel muy bajo y 10% en bajo muestran que las empresas no cuentan con asesor a cerca del manejo de herramientas de la Industria 4.0; 97% de las entidades no cuenta con maquinaria para procesos de migración progresiva; ninguna de las empresas cuenta con plan estratégico para adquisición de software y equipos para la I4.0; 87% en nivel muy bajo, no monitorea procesos en tiempo real y el 13% se encuentran en nivel bajo.

De igual manera, desde la encuesta se puede establecer que el 97% de las empresas no desarrollan proceso de análisis de información y datos con herramientas Big Data para sus procesos de construcción; en cuanto a procesos de simulación para diseño estructural se puede identificar que el 43% considera desarrollarlos en un nivel alto, 30% muy alto, 17% medio y 10% en un nivel bajo; no

aplican realidad virtual y tampoco aumentada; en 97% no cuenta con esquemas de ciber seguridad; las empresas desconocen los procesos aplicados a construcción mediante impresión en procesos 3D; No cuenta con desarrollo de herramientas de computación en la nube (Cloud Computing); no cuenta con implementación de robots y solo un 3% han aplicado procesos de inteligencia artificial; no desarrollar procesos de implementación M2M y HMI; además las instituciones no cuenta con implementación de tecnologías basadas en el Internet de las Cosas (IoT), de manera que tampoco se desarrollan procesos de sonorización inteligente es sus procesos de construcción, tampoco se llevan a cabo sistemas de localización en tiempo real (RTLS), no se implementa nanotecnología, robots autónomos, y adicionalmente el 50% de las empresa hace uno de redes de comunicación inalámbrica en un nivel muy bajo, 17% en un nivel medio y el 33% considera que se encuentran en nivel medio; y finalmente, no de desarrollan estrategias E-commerce y E-learning.

5.2.1. Acciones a Implementar en Procesos para Construcción 4.0

Tabla 5. Activos Inteligentes en la Construcción

Elementos Activos Inteligentes en Construcción en Fases de Construcción			
Activo inteligente	Fabricación	Montaje in situ	Implementación
Escenario/Aplicación	Una pared modular inteligente sección que se está fabricando es capaz de compartir datos con el proceso de fabricación para garantizar la entrega a tiempo de subcomponentes y asistencia con su inserción.	Una sección de pared modular que se incorpora a un edificio puede ayudar a un constructor al proporcionar información sobre su posicionamiento fino y fijación en relación con otras secciones de construcción ya ensambladas.	<ul style="list-style-type: none"> • Una sección de pared modular es capaz de transmitir datos al concentrador inteligente del propietario de una casa. • Los datos transmitidos incluyen la temperatura de la casa y la humedad de la sección de la pared (tal vez para alertar sobre la entrada de agua / humedad). • Siempre que se dé el consentimiento, también

			podría enviar datos a los fabricantes
Sensores potenciales para aplicar en cada fase	Los sensores integrados típicos podrían incluir sensores de orientación, vibración y temperatura.	Los sensores integrados típicos podrían incluir sensores de orientación, RFID e IR para garantizar el posicionamiento correcto y la alineación entre los paneles. Dependiendo del tamaño del sitio de construcción, los protocolos de comunicación de rango mediano a grande como Zigbee, WiFi o LoRaWAN podrían ser útiles para garantizar las comunicaciones en todo el sitio entre los activos y los trabajadores.	Los sensores integrados típicos podrían incluir temperatura, humedad, iluminación, sensores químicos para medir contaminantes y niveles de monóxido de carbono.
Tipos de comunicación y propiedades requeridas en cada fase	Los protocolos de comunicación de corto alcance como Bluetooth o ZigBee garantizarán que la comunicación permanezca local, pero también permitirán construir una red de tipo malla para facilitar la transferencia y el intercambio de datos.		- Los protocolos de comunicación típicos podrían ser de corto alcance como WiFi, Zigbee o Bluetooth. - Si se da el consentimiento, la tecnología de Internet podría utilizarse para transmitir los datos desde el hogar de un usuario a las fábricas del fabricante.

<p>Uso potencial de datos</p>	<p>Uso potencial de datos en gemelos digitales en cada fase</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las condiciones del proceso, como la temperatura y la vibración, podrían ayudar a identificar los parámetros óptimos del proceso y predecir las averías • Los datos de los sensores se utilizarán para la actualización y simulación del inventario 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos de posicionamiento enviados en tiempo real a los trabajadores para comunicar la proximidad exacta a las piezas de trabajo. • Alertar a los trabajadores sobre posibles situaciones peligrosas invisibles • Transmisión en vivo de datos de tiempo y movimiento al cronograma de construcción 	<ul style="list-style-type: none"> • Los datos podrían utilizarse para informar a la próxima generación de productos para los próximos edificios, lo que permitiría actualizaciones automáticas de los diseños. • Los datos podrían reproducirse para evaluar cómo cambia la estructura con las condiciones ambientales y el uso.
-------------------------------	--	--	---

Fuente: (Forcael et al., 2020)

Al tener en cuenta las tecnologías que se emplean para la construcción 4.0 como en los trabajos desarrollados por (Urías, 2022; Demirkesen & Tezel, 2021; Forcael et al., 2020; Moshood, 2020; Schönbeck et al., 2020; Villena et al., 2020; Gallego et al., 2020) se muestra que las principales tecnologías de la Industria 4.0 más empleadas son Análisis con Procesos Big Data, Robótica y la Inteligencia Artificial, Simulación, Ciberseguridad – Sistemas Ciber Físicos, Computación en la Nube, Manufactura aditiva Impresión 3D, Realidad aumentada y Blockchain. En la Tabla 5 se presenta un compendio de algunas de las estrategias, elementos y tecnologías que ser propias de la Industria 4.0, se pueden emplear para el desarrollo de procesos de construcción y ser vistos como elementos de la construcción 4.0. Los procesos de fabricación se pueden desarrollar de forma modular y después de fabricados, ser llevados al sitio de construcción. Los sensores integrados típicos podrían incluir sensores de orientación, vibración y temperatura.

Los protocolos de comunicación de corto alcance como Bluetooth o ZigBee garantizarán que la comunicación permanezca local, pero también permitirán construir una red de tipo malla para facilitar la transferencia y el intercambio de datos. De igual forma, los datos de los sensores se pueden emplear para identificar parámetros óptimos en las condiciones del proceso, de manera que se actualice en posteriores procesos de simulación e inventario. Una sección de pared construida como módulo cuenta con sensores especializados que son capaces de transmitir datos de información del proceso a concertadores o servidores, los datos pueden ser nivel de vibración y temperatura, de manera que esta información puede ser empleada por los fabricantes. Los datos podrían utilizarse para informar a la próxima generación de productos para los próximos edificios, lo que permitiría actualizaciones automáticas de los diseños. Los datos podrían reproducirse para evaluar cómo cambia la estructura con las condiciones ambientales y el uso (Forcael et al., 2020).

Análisis con Procesos Big Data

Como se expuso con anterioridad en el marco de referencias, el análisis de datos mediante medios Big Data, permite el analizar y administrar una gran cantidad de datos de información del proceso de construcción, de modo que se mejora de manera importante el rendimiento y se logra optimizar el proceso de construcción modular, debido a la toma de decisiones más rápida y acertada con inteligencia artificial de aprendizaje profundo, lo que disminuye los accidentes, costos y mejora el rendimiento en el proceso, lo que agiliza la construcción en tiempo (Dewan & Sekhari, 2020).

Robótica y la Inteligencia Artificial

Otra herramienta que se muestra como fundamental para el desarrollo de la construcción 4.0 es la robótica, asociada con la inteligencia artificial. A su vez, la robótica, en asociación con la inteligencia artificial y el big data, se presentan como la oportunidad de realizar tareas repetitivas que pueden denotar cansancio físico y lesiones por la cantidad de operaciones que se deben ejecutar (Sowmya & Suneetha, 2017). Además, otro de los beneficios de la robótica es que permite la programación de múltiples tareas como el desplazamiento y colocación de módulos de prefabricación de manera precisa y eficiente con reducción de tiempo, costos y accidentes potenciales en la obra; caso contrario, de presentarse problemas en el proceso de construcción, se generan retrasos y parada del proceso de producción, esto conlleva iniciar actividades de potenciales mantenimientos no programados (Coruña, 2021).

Simulación

La tecnología basada en herramientas de simulación permite obtener diseños y una visión cerca del resultado final, en el que se pueden encontrar fallas estructurales, bajo simulación de cargas y resistencia de materiales, a fin de garantizar que la construcción tenga altos estándares de calidad en el resultado final. Con la intervención de software especializado, adicionalmente se pueden realizar análisis térmicos, acústicos, de dinámica de fluidos, electromagnéticos entre otros (Porrás, 2015). El desarrollo de análisis analógico virtual y computarizado de un sistema físico se puede utilizar para simulaciones en una variedad de propósitos, como ejemplo se muestra el trabajo realizado por Demirkesen & Tezel (2021), en el cual, al utilizar la sincronización en tiempo real de los datos de lectura entrantes en el proceso de construcción se logran procesos de simulación cambios fluidos y eficientes. Como parte de las ventajas de la robótica se encuentra la reducción de

tiempos de construcción, mayor nivel de productividad y la generación de decisiones por eventuales fallas en el diseño, y una eventual reducción de costos a futuro (Begic & Galic, 2021).

Ciberseguridad – Sistemas Ciber Físicos

Este mecanismo permite el control y monitoreo de los diferentes algoritmos de programación, los cuales se basan en comunicación mediante Internet de las Cosas y algoritmos computacionales. El entrelazado de los sistemas de software y dispositivos físicos, permiten la operatividad de una construcción a gran escala en rendimientos y espacios de tiempo eficientes, esto a través de una coordinación bidireccional entre la construcción física y los modelos virtuales (Forcael et al. 2020).

Computación en la Nube

Al tener en cuenta el modelo de la I4.0 y su migración en integración hacia la construcción denominada Construcción 4.0, son muchas las actividades inmersas en la computación en la nube, modelo en el que se comparte información y el uso de aplicaciones del proceso de construcción desde distintas ubicaciones en forma coordinada y sincronizada. Caso claro la planta de fabricación y el sitio de construcción, al momento de necesitarse alguna parte del proceso, viga, pared modular, entre otros, mediante proceso de impresión 3D y manufactura o fabricación aditiva, lo que hará el proceso más eficiente, sin paradas no programadas y costos adicionales en tiempo y dinero (Villena et al., 2020).

Manufactura aditiva Impresión 3D

Este tipo de fabricación por partes se desarrolla a partir de un modelo desarrollado en 3D, mediante modelado computarizado, lo que permite desarrollar las partes al seguir las medidas y parámetros de diseño computarizado y plasmarlo de forma real, lo que baja los costos y mejora los procesos de producción (Gómez, 2018).

Realidad aumentada.

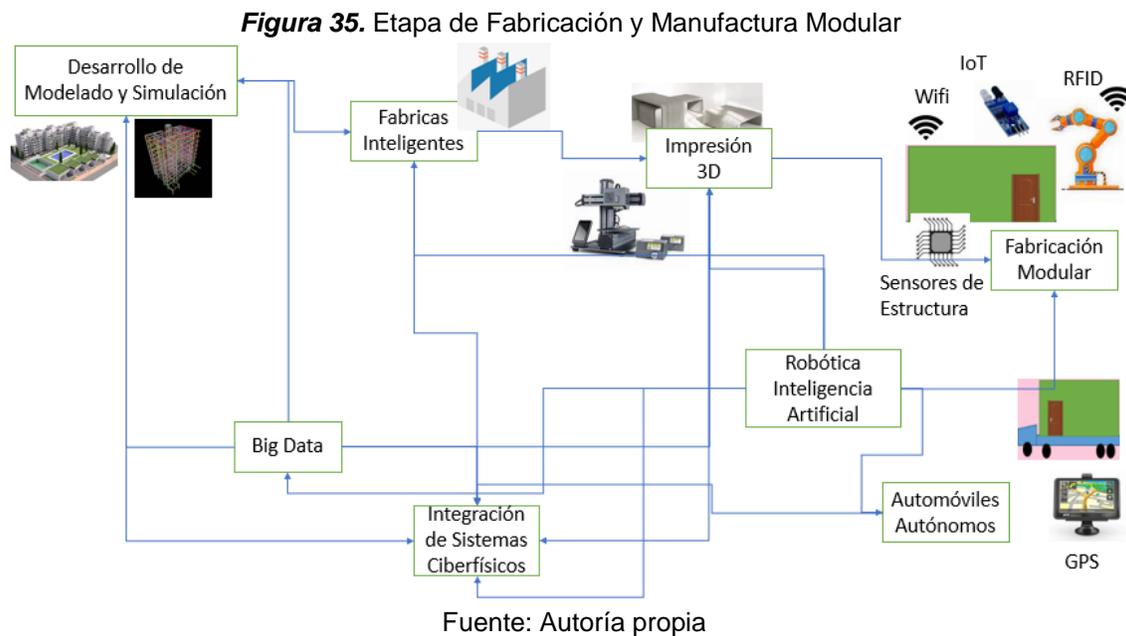
A pesar de la lenta evolución de los procesos de construcción 4.0 en nuestro país, la realidad aumentada ha desarrollado avances importantes, al ser compatible con procesos de simulación, de forma que se pueden hacer revisiones estructurales y de evolución de la obra, al comparar un punto del proceso en particular y poder comparar su estado actual con el punto de desarrollo final, lo que podría ocasionar problemas y accidentes futuros por falta de seguridad con el uso de gafas de realidad aumentada, para la revisión y gestión de máquinas y dispositivos para la construcción (Begic & Galic, 2021).

Blockchain

Esta tecnología se puede emplear de manera que brinde seguridad y encriptación de la información y bases de datos del proceso de construcción, de forma que se puedan evitar potenciales procesos de fraude (Dewan et al., 2020).

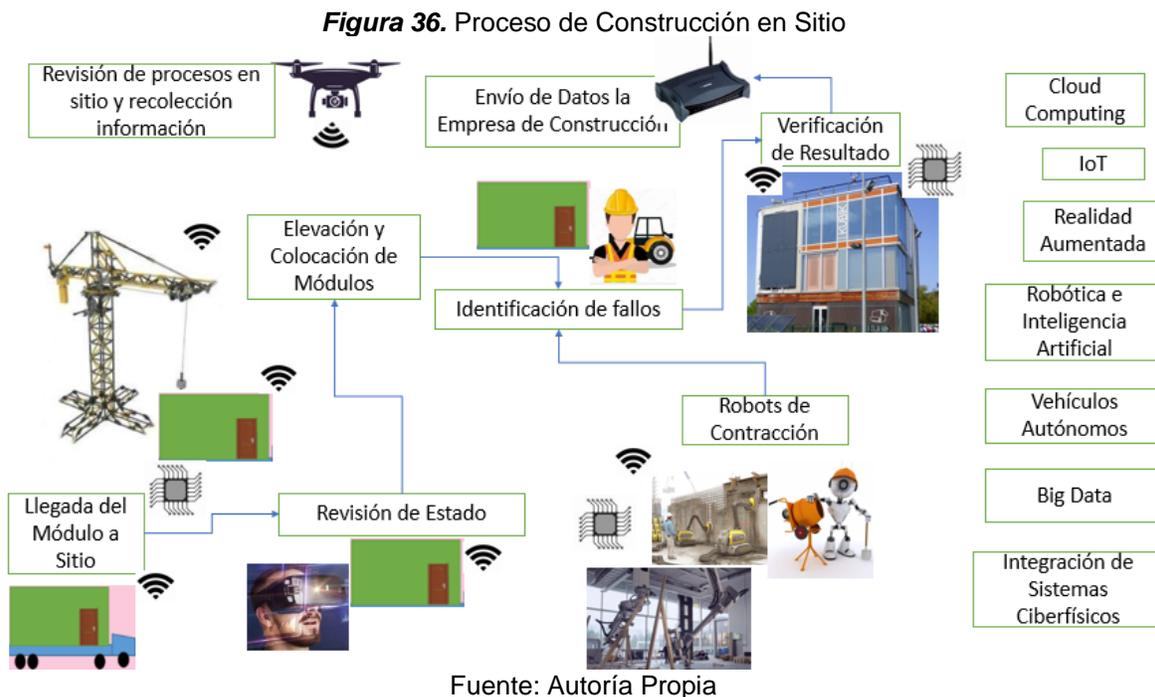
Al tomar como base la información literaria revisada se pudieron establecer las principales tecnologías que se aplican con la industria 4.0 para la construcción, esto con el fin de establecer un esquema conceptual que se pueda emplear como base para investigaciones posteriores en el área. Al tener en cuenta las tecnologías

y componentes de la industria 4.0 se pueden emplear para el desarrollo de la construcción 4.0, en la Figura 35 se presenta un modelo esquema de la etapa de fabricación y manufactura modular para la implementación de estas tecnologías a futuro.



Como parte inicial del proceso en el proceso de fabricación y manufactura, se deberán desarrollar los esquemas de modelamiento y simulación con software específicos y especializados, que muestren las etapas de diseño y el resultado final, para que con esto se permita desarrollar simulación resistencia y materiales, sistemas de flujo, sistemas eléctricos, y todos los elementos que integran la construcción. Con los resultados de datos e información y al aplicar análisis Big Data, inteligencia artificial, y robótica, IoT (con internet, sensores y protocolos de comunicación) e integración de sistemas ciber físicos, se puede enviar la información a las fábricas inteligentes para la realización de procesos de impresión 3D o construcción modular de las paredes y estructuras relacionadas con el diseño del edificio en un proceso controlado. Una vez se terminen los procesos de

fabricación los módulos estructurales se transportarán por medió de vehículos o camiones autónomos con asistencia de GPS, de manera que se realice trazabilidad en la ruta y del estado del módulo fabricado.



Como se muestra en la Figura 36 el proceso de construcción continua con la llegada de los módulos construidos. Mediante robots que emplean inteligencia artificial y sensores se descargan las partes, un equipo de trabajadores revisa las partes que llegan para identificar el estado y comparar la información en tiempo real, dispositivos como smartphones o tables con los datos e información en bases de datos apoyados por big data. Una vez se identifica el estado, los robots grúa o sistemas autónomos móviles por tierra, llevan las partes al sitio respectivo. Con procesos de realidad aumentada y sistemas virtuales, sensores y protocolos de

comunicación, bajo integración de sistemas ciber físicos y procesos de cloud computing, se monitorea la construcción en tiempo real y se compara con las simulaciones de diseño inicial, de igual forma grupos de trabajadores vigilan y monitorean el estado de cada sección de la construcción y con el uso de realidad aumentada y conexión a internet, logran alimentar la base de datos, detectar fallas, detectar estrés en las estructuras o variaciones de temperatura y humedad que pueden afectar la construcción. Cabe aclarar que durante el proceso de construcción sistemas autónomos no tripulados, como drones, monitorean y registran la información de sensores, robots y cada parte de la construcción. Adicionalmente, en sitio se cuenta con robots inteligentes y autónomos que desarrollan la construcción de la estructura interna. Una vez se ha terminado el proceso, los sistemas de sensores y los equipos de identificación de fallas, realizan una revisión final de cada detalle de construcción y envían esta información a la empresa constructora para el evalúe los resultados y almacene estos datos estos registros para posteriores procesos de construcción y mida la eficiencia.

5.3. PROPUESTA DOCUMENTAL DE ACCIONES DE MEJORA PARA LAS EMPRESAS DE LA CONSTRUCCIÓN

Al tener en cuenta la propuesta de mejora y las necesidades de cada aplicación para el desarrollo de procesos que lleven a la migración paulatina desde la construcción convencional hacia a la construcción 4.0. A continuación se presentan en la Tabla 6, algunos de los principales trabajos desarrollados para establecer acciones para la mejora del proceso de construcción bajo temáticas de la Industria 4.0.

Tabla 6. Propuesta de Documentación de Acciones para Construcción 4.0

Propuesta de Documentación de Acciones para Construcción 4.0			
	Título	Temática	Autor
1	Hábitat, Vivienda y Construcción 4.0	Conceptualiza la I4.0, la C4.0 y sus componentes principales; muestra la parte fundamental de la automatización y eficientiza elementos del sector de la construcción, con lo que se genera una nueva ventana de oportunidades y de transformación general del mismo.	(Urias, 2022)
2	Investigating major challenges for industry 4.0 adoption among construction companies	Presenta los desafíos y tendencias de modelado de información de construcción (BIM) e Internet de las Cosas (IoT) como las estrategias más empleadas	(Demirkesen & Tezel, 2021)
3	Construction 4.0: A Literature Review	Esta revisión muestra que las tecnologías que se implementan para construcción 4.0 se encuentran: impresión 3D, Big Data, Realidad Virtual e Internet de las Cosas	(Forcael et al., 2020)
4	Emerging Challenges and Sustainability of	Establece los elementos y modificaciones que se requieren para la implementación para la construcción 4.0, al identificar los desarrollos potenciales, de forma	(Moshood, 2020)

	Industry 4.0 Era in the Malaysian Construction Industry	que se exponen los peligros relacionados con la economía y el apoyo de la mejora de la simulación	
5	Quantitative Review of Construction 4.0 Technology Presence in Construction Project Research	Esta revisión muestra que existe una gran brecha de investigación con respecto a las tecnologías de Construcción 4.0 en el contexto de los proyectos de construcción. Los estudios sobre la sinergia y los efectos ambientales de las nuevas tecnologías deberían aumentar para iniciar el progreso hacia una entrada exitosa en la cuarta revolución industrial.	(Schönbeck et al., 2020)
6	La construcción 4.0: hacia la sostenibilidad en el sector de la construcción	Establece los parámetros de la construcción industrializada desde una perspectiva 4.0 a través de una revisión de la literatura, y, en segundo lugar, reflexionar sobre el enfoque de la construcción con un enfoque 4.0. hacia los principios de sostenibilidad y desarrollo sostenible para las sociedades del futuro.	(Villena et al., 2020)
7	La coordinación y comunicación de obra en la construcción 4.0	Presenta las principales iniciativas que se manejan para la construcción 4.0, entre las que se encuentra la digitalización de los procesos y la implantación de BIM (Building Information Modeling) y método de trabajo colaborativo a partir de un modelo en 3D.	(Gallego et al., 2020)

Fuente: Autor

Al tener en cuenta que las principales tecnologías que se proponen por los investigadores de la Tabla 6 son análisis con procesos big data, robótica y la inteligencia artificial, simulación, ciberseguridad – sistemas ciber físicos, computación en la nube, manufactura aditiva impresión 3d, realidad aumentada, blockchain. A continuación, se presentan una serie de actividades que presentan las acciones que se requiere para llevar a cabo los procesos de adaptación progresiva de la construcción 4.0.

Tabla 7. Formato de Implementación de Análisis Big Data

 <p style="text-align: center;">UNIDADES TENOLOGICAS DE SANTANDER</p> <p style="text-align: center;">TECNOLOGIA EN PROCESOS INDUSTRIALES</p> <p style="text-align: center;">Implementación De Análisis Big Data</p>	
1.Sistemas De Procesamiento De Datos Óptimos	Se requiere la compra de equipos computacionales de alta potencia, óptima capacidad y velocidad para lograr el análisis continuo de los datos y gestión de la información de entrada y toma de decisiones.
2.Integración Con Otras Tecnologías	<p>Este proceso se puede integrar con otras tecnologías como Internet de las Cosas para el censado de parámetros como temperatura, humedad y fallas estructurales, grietas en las paredes, entre otros.</p> <p>Inteligencia Artificial. Los datos son analizados y serán los robots con procesamiento de la información los que realicen los cálculos y la toma de decisiones</p> <p>Procesos de Simulación y Realidad Aumentada: Las vistas directas o indirectas en vivo de los entornos físicos del mundo real se aumentan con imágenes superpuestas generados por computadora, en estas se tiene la cuenta el estado actual de la revisión de la obra y compararse con el estado final, a fin de identificar fallas y corregirlas a tiempo. Esta tecnología evita errores que podrían verse en varias etapas de fabricación, principalmente en el diseño del producto y las mejoras de productividad</p>
3. Contratación o Capacitación Personal Experto	Para el uso de estas tecnologías se requiere un analista de datos que esté monitoreando el proceso de cada etapa de construcción y supervisando los datos que se generan, la toma de decisiones y el funcionamiento de todo el nodo de la red de adquisición de datos.

Fuente: Autor

Tabla 8. Implementación de Comunicación M2M

 <p style="text-align: center;">UNIDADES TENOLOGICAS DE SANTANDER</p> <p style="text-align: center;">TECNOLOGIA EN PROCESOS INDUSTRIALES</p>	
Implementación de Comunicación M2M	
1.Oportunidades De Aplicación	- La comunicación de máquina a máquina puede incluir instrumentación industrial.
2.Comunicación Remota	<ul style="list-style-type: none"> - Los sensores miden y la plataforma de comunicación recibe y envían los datos para ser registrados por software de aplicación que puede usarlos M2M - Se pueden emplear las tecnologías de comunicación inalámbrica entre los centros de información y las máquinas. - Se pueden emplear vehículos conectados donde surgen relaciones e interacciones. - Robots de Construcción - Vehículos autónomos (Drone)
3. Requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> - Servicio Cloud Computing - Internet de las Cosas - Sensores Inteligentes (IoT) - Máquinas Autónomas (Drones, Robots de construcción, autos autónomos) - Internet - Inteligencia Artificial - Análisis Big Data

Fuente: Autor

Tabla 9. Implementación de Cloud Computing

 <p>UNIDADES TENOLOGICAS DE SANTANDER</p> <p>TECNOLOGIA EN PROCESOS INDUSTRIALES</p>	
Implementación de Cloud Computing	
Compra de Servicios de Computación en la Nube	Compra de servicio de almacenamiento para todas las aplicaciones, programas y datos en un servidor virtual.
Definición de Áreas de Aplicación	<p>Se puede emplear para aplicaciones como servicios remotos, gestión del color y aplicaciones de evaluación comparativa del rendimiento.</p> <p>La nube permite la entrega de sistemas mucho más rápidos que los independientes, actualizaciones rápidas, modelos de rendimiento actualizados y otras opciones de entrega.</p> <p>Almacenamiento en nube es el servicio de almacenamiento en línea más simple que proporciona conveniencia operativa con aplicaciones basadas en la web que no requieren ninguna instalación.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> - Garantiza que los clientes y los empleados alcancen los mismos datos al mismo tiempo. - Cloud Systems reduce los costos, - Elimina la complejidad de la infraestructura,

	- Amplía el área de trabajo, protege los datos y proporciona acceso a la información en cualquier momento.
Tipos de Aplicaciones a Emplear	Nube pública. Nube privada. Nube híbrida (combinación de nube pública y privada) Comunidad en la Nube (esto se refiere a la cooperación de cualquier servicio en la nube con algunas empresas).

Fuente: Autor

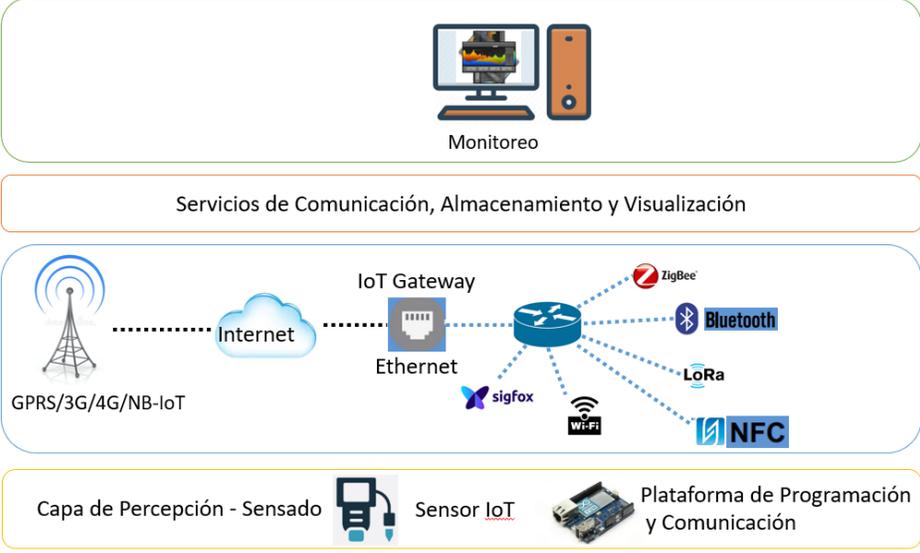
Tabla 10. Implementación de Realidad Aumentada

	UNIDADES TENOLOGICAS DE SANTANDER TECNOLOGIA EN PROCESOS INDUSTRIALES
Implementación de Realidad Aumentada	
Contratación de Personal Experto	La empresa debe contratar una persona experta en el manejo de sistemas de realidad aumentada - Manejo de equipos (gafas) - Diseñador de aplicaciones de realidad aumentada
Compra de Equipos	- Análisis de equipos, características y marcas (gafas) - Adquisición de aplicaciones
Capacitación de Personal	- Cronograma de capacitaciones - Desarrollo de capacitaciones
Implementación en Herramienta en Construcción	Revisión y monitoreo de los procesos de avances y comparativa de progresos Detección de fallas de ejecución y diseño, en comparación de la propuesta final.

Fuente: Autores

Tabla 11. Implementación de Internet de las Cosas

	<p>UNIDADES TENOLOGICAS DE SANTANDER</p> <p>TECNOLOGIA EN PROCESOS INDUSTRIALES</p>
<p>IMPLEMENTACIÓN DE INTERNET DE LA COSAS (IoT)</p>	
<p>Asesoría Especializa</p>	<p>Para la integración del internet de las cosas a los procesos de producción en construcción, se requieren contar con personal especializado y experto en procesos relacionados con IoT, por ejemplo, un ingeniero electrónico</p>
<p>Análisis De Necesidades</p>	<p>Se debe realizar un análisis de necesidad del lugar de construcción de manera que se identifique las potenciales aplicaciones a desarrollar y resolver los requerimientos de la infraestructura de las aplicaciones IoT</p>
<p>Análisis De Arquitectura lot</p>	<p>Una vez se desarrolle el análisis de aplicaciones y necesidades IoT para el proceso de construcción, se debe revisar cada capa del modelo de arquitectura IoT:</p> <p>Establecer los sensores de medición y las plataformas de programación y comunicación para la capa física.</p> <p>Establecer un proveedor de servicio de internet (ISP) y contar con infraestructura de red (routers, módems, Access point, Internet y Wifi, para la capa de comunicaciones</p>

	<p>Para la capa de aplicaciones seleccionar una plataforma IoT con herramientas de prediseño para facilitar el uso de la aplicación. Contratar el servicio de hosting para registro y almacenamiento de los datos</p>
	<p>Capa de Aplicación</p> <p>Capa de Servicios</p> <p>Capa Comunicación</p> <p>Capa Física</p>
<p>Analisis de Requerimientos Y Equipos</p>	<p>Seleccionar los equipos y dispositivos electrónicos requerido, mediante la accesoria del ingeniero electrónico</p>
<p>Compra de Equipos</p>	<p>Establecer los costros y la compra de equipos requeridos</p>
<p>Pruebas e Instalación</p>	<p>Se deben desarrollar pruebas pilotos para establecer la funcionalidad de los dispositivos y los equipos que se emplean</p> <p>Desarrollar pruebas en entorno real y verificar el funcionamiento de la red IoT instalada</p>

Fuente: Autor

6. CONCLUSIONES

Al analizar los resultados de la encuesta a las empresas se pudo establecer que, estas cuenta con un nivel de preparación muy bajo para asumir los retos que conlleva la implementación de la construcción con herramientas 4.0, de igual forma, la implementación de estas estrategias es bastante bajo, solo se pudo identificar la implementación del modelado de información de construcción, análisis big data e inteligencia artificial, de forma que está diseñado en 3D (tres dimensiones) y en tiempo real para no perderse en los diseños y construcción, donde se puede trabajar la geometría de los edificios, las relaciones espaciales, la geografía, las cantidades, la optimización de los procesos de gestión y los riesgos asociados al proceso de construcción, entre otros componentes. Por otra parte, se pudo establecer que el 97% de las empresas no implementan sistemas de diseño por simulación, realidad virtual, aumentada, Análisis big data, cloud computing, implementación de ciberseguridad, robótica, inteligencia artificial, instrumentación inteligente, Internet de las Cosas, tecnología RFID, nanotecnología.

Como parte de las propuesta de acciones para la implementación de construcción 4.0, establecieron esquemas con tecnologías potencialmente aplicables al procesos de fabricación, con el montaje de fábricas inteligentes que lleven a cabo procesos de modelado y simulación inicial, construcción modular, o estructuras de decoración con impresión 3D y robots especializados de inteligencia artificial, apoyados con datos e información que es analizada por estrategias Big Data y en conexión de sistemas ciber físicos con internet de las cosas y computación en la nube. De igual forma una vez fabricados, se pueden transportar de forma precisa y eficiente, mediante personal calificado o sistema de vehículos autónomos; una vez en sitió los módulos revisados para comparar su estado a la llegada, esto se puede hacer con gafas de realidad aumentada, los módulos son elevados con

grúas programadas y robots especializados, que emplean inteligencia artificial; de igual forma se usa conexión ciber física e internet de las cosas, computación en la nube, sensores, protocolos de comunicación, drones que reciben y envían información que actualiza los avances y permite la toma de decisiones.

Como parte de la documentación propuesta, los 7 trabajos revisados y seleccionados cuentan con información que puede servir para generar procesos, esquemas y definición de herramientas que permitan la implementación gradual de estrategias que logren la migración progresiva hacia la construcción 4.0.

Adicionalmente se debe tener presente que a raíz de esta nueva propuesta se generan grandes ventajas a nivel empresarial, pero, a su vez se determina la existencia de una gran variedad de limitaciones que hace que su implementación sea mucho más difícil, como lo es pensar en el presupuesto que se requiere para la compra e importación de maquinaria optimizada para el desarrollo de labores manuales a computarizadas.

7. RECOMENDACIONES

Como parte de las recomendaciones se espera que se desarrollen temáticas similares en las que se pretenda profundizar en cada una de las tecnologías, herramientas y sistemas que se emplean en la construcción 4.0, de forma que se logren proponer estrategias viables, para la migración progresiva a futuro y mejorar las bases de investigación.

Se recomienda profundizar en la tecnologías y herramientas, que según la revisión documental y los resultados de la encuesta muestran que los pilares de la construcción 4.0 son el análisis con procesos big data, robótica asociada a la inteligencia artificial, procesos de diseño mediante simulación e impresión 3D, implementación de ciberseguridad – sistemas ciber físicos, computación en la nube, realidad aumentada y blockchain.

Finalmente, debido a las falencias actuales de implementación de procesos ligados a la Industria 4.0 en la construcción en Bucaramanga, se recomienda desarrollar potenciales alianzas entre la institución y las empresas para generar procesos de concientización y capacitaciones que dimensionen los potenciales beneficios de la implementación de estas herramientas en la construcción, de manera que se logre incentivar la migración hacia estas tecnologías.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Begic, H., & Galic, M. (2021). A Systematic Review of Construction 4.0 in the Context of the BIM 4.0 Premise. *Buildings*, 11(8), 1-12. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/8/337>
- Berger, R. (2016). Roland Berger Digitization in the Construction Industry: Building Europe's Road to "Construction 4.0". *Journal GMBH*, 1-108. Obtenido de www.rolandberger.com
- Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2014). Augmented Reality in education – cases, places and potentials. *Educational Media International*, 51(8), 1-10. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09523987.2014.889400>
- Coruña, R. U. (2021). Construcción Naval e industria 4.0. En A. Munín, M. González, V. Díaz, & S. Ferreno, *Construcción naval e industria 4.0 modulo 3* (Vol. 3, pág. 26). España: Servizo de Publicacións Universidade da Coruña. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2183/27607>
- Dallasega, P., Rauch, E., & Linder, C. (2018). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers and Industry*, 99(2), 205-225. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361517305043>
- Del Val Román, J. L. (2018). Industria 4.0: la transformación digital de la Industria. *Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Info*, 1-10. Obtenido de <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
- Demirkesen, S., & Tezel, A. (2021). Investigating major challenges for industry 4.0 adoption among construction companies. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 1-10. Obtenido de <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ECAM-12-2020-1059/full/html>
- Dewan, F., & Sekhari Seklouli, A. (2020). Big Data Mining Skills 4.0 for Ameliorating I.4.0. *12th annual International Conference of Science and Technology*, 2(8), 1-10. Obtenido de http://shyfte.eu/wp-content/uploads/2020/07/EDULEARN20_Paper_id_83045.pdf
- Duque, I. V. (2021). La Industria 4.0 en paisajes como Colombia, Chile, Brasil, México, Alemania, China, Inglaterra, Estados Unidos y Alemania. *Repositorio Digital de la Universidad Cooperativa de Colombia*, 1-47. Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/35334/7/2021_industria_pa%C3%ADses_colombia.pdf
- Fernández López, J. D. (2017). La industria 4.0: Una revisión de la literatura. *Repositorio de la Universidad Autónoma Latinoamericana*, 5(15), 370-378. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Serna-M/publication/331385353_Desarrollo_e_innovacion_en_ingenieria_ed_2/links/5c76

e4ce92851c69504663b5/Desarrollo-e-innovacion-en-ingenieria-ed-2.pdf#page=370

- Forcael, E., Ferrari, I., Opazo Vega, A., & Pulido Arcas, J. A. (2020). Construction 4.0: A Literature Review. *Sustainability - Advanced Construction and Architecture 2020*, 12(22), 1-19. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/22/9755/html>
- Gallego Navarro, T. C., Collado López, M. L., Tolosa Robledo, L., & González Vázquez, M. d. (2020). La coordinación y comunicación de obra en la construcción 4.0. *Riarte Repositorio de Investigaciones Arquitectura Técnica de España*, 1-15. Obtenido de <https://www.riarte.es/handle/20.500.12251/1748>
- García López, K. D. (2020). Definición de estrategias de la cuarta revolución industrial para hacer más efectivos los proceso de las empresas del sector de la construcción en Colombia. *Repositorio Digital de la Universidad Católica de Colombia*, 1-94. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24864>
- Gómez Muñoz, J. D. (2018). Manufactura Aditiva para Prototipado Rápido. *Revista de Ingenierías y Tecnologías*, 4(1), 11-26. Obtenido de <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2781>
- Hernández Sampieri, R., Baptista Lucio, M. d., & Fernández Collado, C. (2014). *Metodología de la Investigación (6ta Edición)*. Mexico D.F.: McGraw Hill.
- Hossain, A. N. (2019). Towards Digitalizing of Construction: State of Art of Construction 40. *Interdependence between Structural Engineering and Construction Management*, 1-6. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Md-Hossain-6/publication/334670417_TOWARDS_DIGITIZING_THE_CONSTRUCTION_INDUSTRY_STATE_OF_THE_ART_OF_CONSTRUCTION_40/links/5d3940d2299bf1995b48772e/TOWARDS-DIGITIZING-THE-CONSTRUCTION-INDUSTRY-STATE-OF-THE-ART-OF-CONSTRU
- Jalali, S., Park, H. W., Vanani, I. R., & Pho, K.-H. (2020). Research trends on big data domain using text mining algorithms. *Digital Schoolship in the Humanities - Oxford Academy*, 36(2), 361-370. Obtenido de <https://academic.oup.com/dsh/article-abstract/36/2/361/5817944>
- Maestre Torreblanca, J. M., Chanfreut Palacios, P., García, M., Masero Rubio, E., & Masaki Inoue, F. C. (2021). Control predictivo de sistemas ciberfísicos. *Repositorio Digital - Univeritat Politècnica de Valencia*, 1-17. Obtenido de <https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/15771>
- Mashiyyi, N., Ovakoglou, G., Laneve, G., Alexandridis, T., Mhangara, P., & Kganyago, M. (2020). Validation of sentinel-2 leaf area index (LAI) product derived from SNAP toolbox and its comparison with global LAI products in an African semi-arid agricultural landscape. *Remote Sensing Letters*, 11(10), 883-892. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2150704X.2020.1767823>
- Massaro, A., Vitti, V., Galiano, A., & Morelli, A. (2019). Business Intelligence Improved by Data Mining Algorithms and Big Data Systems: An Overview of Different Tools Applied in Industrial Research. *Computer Science and Information Technology*, 1-21. Obtenido de <https://www.dyrecta.com/lab/wp-content/uploads/2020/10/J103.pdf>
- Méndez, A. (2021). Adopción de la cuarta revolución industrial por parte de las Pymes en países europeos y Latinoamericanos. *Repositorio Institucional de la Universidad Cooperativa de Colombia*, 1-74. Obtenido de

- https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/33980/4/2021_adopci%3%b3n_cuarta_revoluci%3%b3n.pdf
- Moshood, T. (2020). Emerging Challenges and Sustainability of Industry 4.0 Era in the Malaysian Construction Industry. *Journal SSRN*, 4(13), 1-8. Obtenido de https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3599053
- Nava Aguirre, K. M., Silva Ábrego, J. G., Guajado García, A., Leyva Velázquez, O. U., & Torres Camarillo, C. Y. (2019). The incorporation of industry 4.0 in the auto parts sector in Nuevo Leon, Mexico. *Revista de Innovaciones de Negocios*, 5(14), 1-15. Obtenido de <https://revistainnovaciones.uanl.mx/index.php/revin/article/view/304>
- Peña Galvis, O. L., & Palacio Osorio Palacio, G. J. (2018). Impacto de las nuevas tecnologías de "industry 4.0" en Colombia. *Revista Sena*, 2(2). Obtenido de <http://revistas.sena.edu.co/index.php/LOG/article/view/2007>
- Prinz, F., Schoeffler, M., Lechler, A., & Verl, A. (2019). A novel I4.0-enabled engineering method and its evaluation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102, 2245-2263. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-019-03382-1>
- Racamán, Á. (2018). Industria 4.0: Una perspectiva desde la construcción naval militar. *Centro Tecnológico de Navantia*, 2(10), 215-239. Obtenido de <https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2018/08/rgm080918cap01.pdf>
- Ramirez Peña, M., & Sánchez Sotano, A. (2020). Achieving a sustainable shipbuilding supply chain under I4.0 perspective. *Journal of Cleaner Production*, 244(5), 1-14. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619336595>
- Ramos Sanz, A. I. (2019). Transformación de la construcción y la arquitectura en los últimos veinte años: prospectivas y perspectivas. análisis bibliométrico de los tópicos más desarrollados en revistas internacionales de alto impacto. *Revista Arquitecturas del Sur*, 1-20. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/as/v37n55/0719-6466-as-37-55-00106.pdf>
- Rodriguez Molano, J. I., & García Moncada, S. J. (2018). Impact of Implementing Industry 4.0 In Colombia's Supply Chain. *International Conference on Data Mining and Big Data*, 704-713. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93803-5_66
- Saa Zambrano, D. Y. (2021). Análisis de la industria 4.0 en Latinoamérica y países desarrollados. *Repositorio Institucional UCC*, 175. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/33593>
- Schiele, H., & Torn, R.-J. (2020). Cyber-physical systems with autonomous machine-to-machine communication: Industry 4.0 and its particular potential for purchasing and supply management. *International Journal of Procurement Management*, 13(4), 507-530. Obtenido de <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJPM.2020.108617>
- Schönbeck, P., Löfsjögård, M., & Ansell, A. (2020). Quantitative Review of Construction 4.0 Technology Presence in Construction Project Research. *Buildings*, 10(10), 173-185. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2075-5309/10/10/173>
- Shah, S., Naghi Ganji, E., & Mabbott, O. (2018). Innovation and I4.0 Management in Connected and Autonomous Automotive Manufacturing. *IEEE International*

- Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 1-10. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8436262>
- Somei Nakayama, R., de Mesquita Spínola, M., & Silva, J. R. (2020). Towards I4.0: A comprehensive analysis of evolution from I3.0. *Computers & Industrial Engineering*, 144, 1-12. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036083522030187X>
- Sowmya, R., & Suneetha, K. (2017). Data Mining with Big Data. *11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*, 15(4), 1-10. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7855990>
- Treviño Elizondo, B. L., & García Reyes, H. (2020). Industry 4.0 Adoption in Latin America: A Systematic Literature Review. *IIE Annual Conference. Proceedings*, 174-179. Obtenido de <https://www.proquest.com/openview/7ca08c06aaa62fa246fae982dadf606f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=51908>
- Urias, H. E. (2022). Hábitat, Vivienda y Construcción 4.0. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 11, 1-78. Obtenido de <https://revistavivienda.cuaad.udg.mx/index.php/rv/article/view/210>
- Villena Manzanares, F., Marçal Gonçalves, M., & Lucena González, C. (2020). La construcción 4.0: hacia la sostenibilidad en el sector de la construcción. *24th International Congress on Project Management and Engineering*, 7(10), 1-14. Obtenido de http://dSPACE.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/2443/AT02-013_20.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Wu, X., Zhu, X., Wu, G.-Q., & Ding, W. (2014). Data mining with big data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 28(1), 97 - 107. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6547630>
- Yepes Piqueras, V. (2019). Concepto y Clasificación de las Cimentaciones. *Universidad Politécnica*, 1-10. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/09/concepto-y-clasificacion-de-las-cimentaciones/>

9. ANEXOS

Anexo A. Modelo de Encuesta



ENCUESTA – IDENTIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS CONSTRUCCIÓN 4.0

La siguiente encuesta tiene como finalidad establecer el estado de la aplicación de herramientas y tecnologías relacionadas con la Industria 4.0 aplicadas al área de la construcción para lograr procesos de migración hacia la Construcción 4.0 en Bucaramanga

A. Información Básica

Sexo:	<input type="checkbox"/> Masculino	<input type="checkbox"/> Femenino	Correo:	Nombre de la Empresa
-------	------------------------------------	-----------------------------------	---------	----------------------

B. Nivel de Preparación e Implementación

Las siguientes preguntas hacen referencia al nivel de conocimiento, preparación e implementación con el que cuenta la empresa para aplicar tecnologías y herramientas para la Industria 4.0 en los procesos de construcción. Por favor marque con una X siendo 5: muy alto, 4: alto, 3: medio, 2: bajo y 1: muy bajo, esto con el fin de identificar el estado actual de esta potencial aplicación.

FASE1: EVALUACIÓN DE NIVEL DE CONOCIMIENTO Y PREPARACIÓN DE LA EMPRESA	5	4	3	2	1
1. ¿Actualmente la empresa está desarrollando procesos de transformación a herramientas digitales?					
2. ¿La alta dirección de la empresa conoce el concepto de Industria 4.0 y su potencial implementación en procesos de construcción?					
3. ¿Se han llevado a cabo actividades de capacitación para el personal en herramientas 4.0 para la construcción?					
4. ¿La empresa cuenta con asesor en el manejo de herramientas 4.0 para procesos de migración a construcción 4.0?					
5. ¿La maquinaria de la empresa permitiría la migración progresiva hacia el uso de herramientas 4.0 para la construcción?					
6. ¿La empresa cuenta con un plan estratégico para adquisición de software y equipos, que le permita desarrollar procesos de migración hacia herramientas tecnológicas para construcción 4.0?					
7. ¿Considera que la empresa está capacitada tecnológicamente para las nuevas tendencias del mercado y las necesidades de los clientes?					
8. ¿Actualmente su empresa cuenta con la capacidad de monitorear procesos en tiempo real?					
FASE 2: PROCESOS DE IMPLEMENTACIÓN PARA CONSTRUCCIÓN 4.0					
9. ¿La empresa emplea análisis de datos (Big Data)?					
10. ¿Cuenta la empresa con procesos de simulación para diseño?					
11. ¿Implementa la empresa herramientas de realidad virtual?					
12. ¿Aplica actualmente tecnologías de realidad aumentada?					
13. ¿Cuenta la empresa con implementación de ciberseguridad?					
14. ¿La empresa emplea herramientas de impresión y escaneo 3D?					
15. ¿La empresa hace uso de herramientas tecnológicas Cloud Computing?					
16. ¿Cuenta la empresa con tecnología de Robótica?					
17. ¿Desarrolla la empresa procesos de inteligencia artificial?					
18. ¿Su empresa aplica herramientas para comunicación Máquina a Máquina? (M2M)					
19. ¿Aplica su empresa el desarrollo de Interfaces Hombre Máquina? (HMI)					
20. ¿Su empresa implementa herramientas tecnológicas de Internet de las Cosas? (IoT)					
21. ¿Su empresa implementa tecnología de Instrumentación Inteligente? (Sensorización)					
22. ¿La empresa implementa herramientas tecnológicas de radiofrecuencia (RFID)?					
23. ¿La entidad implementa tecnologías para Sistemas de Localización en Tiempo Real (RTLS)?					
24. ¿Conoce su empresa nanotecnología para aplicar a la construcción?					

25. ¿Emplea la empresa sistemas de robots autónomos?					
26. ¿La empresa desarrolla procesos de prestación de bienes mediante Dispositivos Móviles?					
27. ¿Emplea la empresa Comunicaciones Inalámbricas?					
28. ¿La empresa desarrolla estrategias de Mercado Digital?					
29. ¿Aplica la empresa herramientas E-Learnig?					
30. ¿Actualmente la empresa herramientas aplica E-commerce?					
31. ¿Recuerda otra herramienta para Construcción 4.0 que aplique la empresa?					

¡Gracias por tu tiempo!

Fuente: Autor