

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“PROPUESTA DE HOJA DE RUTA PARA IMPLEMENTAR ROBOTS EN LA
PARTIDA DE INSTALACIÓN DE DRYWALL EN EDIFICIOS
MULTIFAMILIARES EN LIMA”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

ANGELA CECILIA GAGO GAMBOA

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0014-8470>

ASESOR

Mag. MARCK STEEWAR REGALADO ESPINOZA

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6752-0196>

Lima - Perú

2025

© 2025, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Gago Gamboa Angela Cecilia

angela.gago.g@uni.pe

934426310

DEDICATORIA

A mi familia, por su amor incondicional y constante apoyo en cada paso de mi formación académica y profesional. A mis padres César Gago y Gracilda Gamboa, por inculcarme los valores de resiliencia, perseverancia y disciplina, y por ser siempre mi fuente de inspiración y fortaleza.

A mis tías Vicky Gago y María Gago, quienes me han acompañado y alentado durante mi formación, compartiendo conmigo alegrías y logros. A mis abuelos Gago y Gamboa, quienes fueron y son motivación en mi vida.

A mis profesores y mentores, especialmente al ingeniero Marck Regalado y al ingeniero Andrews Erazo, por su guía y conocimientos, que han sido cruciales en mi desarrollo como profesional.

A mi alma mater, la inigualable Universidad Nacional de Ingeniería, por brindarme una formación sólida como futura ingeniero civil.

Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que creen en la importancia de la tecnología como herramienta para construir un futuro mejor. ¡Todo parece imposible hasta que se hace!

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, el ingeniero Marck Regalado, por su invaluable apoyo durante la elaboración de este trabajo de investigación. Sus comentarios y observaciones enriquecieron significativamente el contenido de esta tesis.

También, extendiendo mi gratitud al ingeniero Andrews Erazo, quien fue mi mentor e introdujo en el fascinante mundo de las tecnologías para la construcción. Agradezco su vocación de servicio y paciencia que demuestra con la comunidad universitaria de ingeniería civil.

A los expertos que participaron como juicio de expertos y a todos los profesionales que formaron parte de la investigación, muchas gracias por su tiempo y conocimientos. Sus contribuciones fueron esenciales para la validación y enriquecimiento de esta investigación.

A mi querido Grupo Estudiantil GIT Construcción UNI, por su constante apoyo y por proporcionar un entorno propicio de aprendizaje y desarrollo profesional.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que me motivaron durante este proceso, haciendo posible la culminación de esta tesis.

ÍNDICE

Resumen	5
Abstract	6
Prólogo	7
Lista de tablas.....	9
Lista de figuras.....	12
Lista de símbolos y siglas	13
Capítulo I: Introducción.....	14
1.1 Generalidades	14
1.1.1. Antecedentes de la investigación	14
1.1.2. Marco de la investigación.....	16
1.2 Alcance y límite de la investigación	16
1.3 Planteamiento de la realidad problemática.....	17
1.4 Problema.....	18
1.4.1. Problema general.....	18
1.4.2. Problemas específicos	18
1.5 Objetivos	19
1.5.1. Objetivo general	19
1.5.2. Objetivos específicos.....	19
1.6 Formulación de la hipótesis	19
1.6.1. Hipótesis general.....	19
1.6.2. Hipótesis específicas	19
Capitulo II: Marco Teórico y Conceptual	21
2.1 Modelos de innovación en empresas.....	21
2.1.1 Revisión de literatura internacional	21
2.1.2 Revisión de literatura nacional	22
2.1.3 Estado actual de la innovación en el sector construcción	22
2.2 Robótica	23
2.2.1 Tecnologías de automatización y robótica.....	23
2.2.2 Robot in situ	24
2.3 Robótica en la construcción.....	24
2.3.1. Presencia de robots en la construcción.....	24
2.3.2. Tipos de tecnologías robóticas y sus aplicaciones in situ	25
2.3.3. Robots para la instalación de drywall	26
2.4 Modelos de superación de barreras para la implementación de robots	27

2.4.1. Modelo para superar las barreras de implementación en países de desarrollo	27
2.4.2. Modelo para superar las barreras de implementación en el sector de la construcción	28
2.5 Modelos propuestos para la implementación de robots	29
2.5.1. Framework para la implementación de la robótica en empresas del sector construcción	29
2.5.2. Estructuración del contexto para el desarrollo de robots de construcción	29
2.6. Estadística descriptiva	30
2.7 Entrevista y selección de expertos	30
2.7.1. Selección de expertos	30
2.7.2. Entrevistas con expertos	30
2.8 Coeficientes de evaluación	31
Capítulo III: Análisis de barreras para la implementación de robots en Lima	
3.1 Metodología de investigación	33
3.2 Revisión literaria de barreras y beneficios de la implementación de robots	34
3.3 Entrevista y validación con expertos	35
3.4 Encuesta a profesionales	36
3.4.1 Diseño de encuesta	36
3.4.2 Encuesta masiva	37
3.4.3 Ética de los encuestados	37
3.5 Diseño muestral	38
3.5.1 Universo de estudio	38
3.5.2 Marco muestral	38
3.5.3 Unidades de marco muestral	38
3.5.4 Tamaño de la muestra	38
3.6 Toma de datos	39
3.6.1 Método de recolección	39
3.6.2 Periodo de recolección	39
3.7 Datos generales de encuestados	39
3.8 Prueba de validez y análisis de datos	45
3.9. Revisión de barreras de la implementación de robots en el sector construcción	46
3.10 Análisis estadístico de barreras de implementación de robots	47
3.11 Clasificación de barreras según análisis factorial exploratorio	49
3.11.1 Innovación y marco regulatorio desafiante	53
3.11.2 Limitaciones financieras y obstáculos estratégicos	53

3.11.3 Desafíos culturales y tecnológicos	54
3.11.4 Entorno operativo	54
3.12 Barreras de implementación por etapas de proyectos	55
3.13 Barreras de implementación por tipos de proyectos	57
3.14 Barreras de implementación por tamaño de empresa	60
Capítulo IV: Análisis de beneficios de la implementación de robots en Lima ..	68
4.1. Revisión de beneficios de la implementación de robots en el sector construcción	68
4.2. Análisis estadístico de beneficios de implementación de robots	69
4.3. Clasificación de beneficios según AFE	70
4.3.1 Ventaja competitiva y satisfacción de interesados	74
4.3.2 Optimización económica en procesos constructivos	75
4.3.3 Mejora en seguridad laboral y salud ocupacional	75
4.3.4 Eficiencia y Mejora de Procesos en la Construcción	75
4.4 Beneficios de implementación por etapas de proyectos	76
4.5 Beneficios de implementación por tipos de proyectos	78
4.6 Beneficios de implementación por tamaño de empresa	81
Capítulo V: Propuesta de hoja de ruta para la implementación de robots	86
5.1 Entidades involucradas en la implementación de robots	86
5.2 Consideraciones para el uso de la hoja de ruta de implementación de robots ...	86
5.2.1 Enfoque de la hoja de ruta	86
5.2.2 Esencia de la hoja de ruta	87
5.2.3 Medición de la hoja de ruta	88
5.2.4 Adaptación de la hoja de ruta	88
5.2.5 Estructura de la hoja de ruta: “4PIF”	88
5.3 Hoja de ruta para la implementación de robots	89
5.3.1 Principios	89
5.3.2 Impulsores	91
5.3.3 Fases	93
5.3.4 Fase 1: Revisión de contexto organizacional de la empresa	94
5.3.5 Fase 2: Evaluación integral de soluciones robóticas	98
5.3.6 Fase 3: Gestión de costos y preparación del sitio	102
5.3.7 Fase 4: Integración del robot y cierre del proyecto	106
5.3.8 Descripción de entradas y salidas	109
5.3.9 Descripción de herramientas	112
5.4 Validación de la hoja de ruta	113

Capítulo VI: Aplicación práctica de la hoja de ruta para la implementación de un robot	122
6.1 Selección de caso de estudio	122
6.2 Ética del caso de estudio	122
6.3 Datos generales de la organización de estudio	123
6.4 Consideraciones para el uso de la hoja de ruta en la partida de instalación de drywall	123
6.4.1 Enfoque y esencia de la hoja de ruta.....	123
6.4.2 Medición de la hoja de ruta.....	124
6.4.3 Adaptación de la hoja de ruta.....	124
6.5 Aplicación de la hoja de ruta en la partida de instalación de drywall	124
6.5.1 Principios	124
6.5.2 Impulsores	125
6.5.3 Fase 1: Revisión del contexto organizacional de la empresa.....	126
6.5.4 Fase 2: Evaluación integral de soluciones robóticas.....	132
6.5.5 Fase 3: Gestión de costos y preparación del sitio	137
6.5.6 Fase 4	148
Conclusiones	151
Recomendaciones	152
Referencias bibliográficas	154
Anexos	163

Resumen

En Perú, la baja productividad en proyectos de construcción se evidencia en que solo el 28 % de las actividades realizadas por los trabajadores son consideradas productivas (Huamán, 2021). Además, la industria enfrenta problemas como la disminución de la calidad y la falta de seguridad (Mahbub, 2012). La robótica se presenta como una herramienta potencial para mejorar estos aspectos, aunque su implementación conlleva barreras específicas según el contexto del país, tipo de industria y empresa (Oke et al., 2021). La literatura internacional ha abordado estas barreras en países desarrollados como EE. UU o China. Por ello, existe una brecha de conocimiento sobre el impacto de las barreras y beneficios de la implementación de robots en proyectos de construcción en países en desarrollo como Perú, lo que resalta la necesidad de desarrollar una hoja de ruta adaptada al contexto local para asegurar la implementación exitosa de robots en el sector construcción.

El objetivo general de esta investigación fue proponer una hoja de ruta para la implementación efectiva de robots en edificaciones multifamiliares en Lima. Para lograr este objetivo, se establecieron varios objetivos específicos que incluyeron: identificar las barreras que limitan la adopción de robots en proyectos multifamiliares, determinar los beneficios asociados a su implementación, desarrollar una hoja de ruta basada en estrategias específicas para una adopción exitosa, y validar esta propuesta mediante la aplicación a un caso de estudio y el juicio de expertos.

La metodología de la investigación consistió en una revisión exhaustiva de la literatura para identificar las barreras y beneficios de la robótica en el sector construcción, seguida de la recopilación de información adicional a través de entrevistas con expertos. Después, se elaboró y distribuyó una encuesta entre profesionales de la ingeniería civil para analizar las percepciones del sector y se aplicó un Análisis Factorial Exploratorio para identificar las principales barreras y beneficios. Basado en estos hallazgos, se desarrolló una hoja de ruta con principios, impulsores y fases para la implementación de robots en la fase de instalación de drywall en proyectos multifamiliares. Finalmente, se evaluó la viabilidad de esta hoja de ruta mediante una revisión con profesionales con amplia experiencia y la aplicación al caso de estudios.

Abstract

In Peru, low productivity in construction projects is evidenced by the fact that only 28 % of the activities carried out by workers are considered productive (Huamán, 2021). Furthermore, the industry faces problems such as declining quality and lack of safety (Mahbub, 2012). Robotics is presented as a potential tool to improve these aspects, although its implementation entails specific barriers depending on the country context, type of industry and company (Oke et al., 2021). International literature has addressed these barriers in developed countries such as the US or China. Therefore, there is a knowledge gap about the impact of the barriers and benefits of the implementation of robots in construction projects in developing countries such as Peru, which highlights the need to develop a roadmap adapted to the local context to ensure the successful implementation of robots in the construction sector.

The general objective of this research was to propose a roadmap for the effective implementation of robots in multifamily buildings in Lima. To achieve this goal, several specific objectives were established that included: identifying the barriers that limit the adoption of robots in multifamily projects, determining the benefits associated with their implementation, developing a roadmap based on specific strategies for successful adoption, and validating this proposal through application to a case study and expert judgment.

The research methodology consisted of a comprehensive literature review to identify the barriers and benefits of robotics in the construction sector, followed by the collection of additional information through interviews with experts. Next, a survey was developed and distributed among civil engineering professionals to analyze the perceptions of the sector and an Exploratory Factor Analysis was applied to identify the main barriers and benefits. Based on these findings, a roadmap was developed with principles, drivers and phases for the implementation of robots in the drywall installation phase of multifamily projects. Finally, the viability of this roadmap was evaluated through a review with professionals with extensive experience and the application to case studies.

Prólogo

La presente tesis propone una evaluación inicial sobre la aplicación de la Construcción 4.0, específicamente la tecnología de robots aplicados a procesos constructivos, tomando como primer alcance los proyectos multifamiliares en Lima. Actualmente, a nivel internacional existen algunos estudios preliminares sobre la implementación de esta tecnología y se han hecho pruebas con algunos robots de empresas específicas, demostrando que hay ventajas importantes sobre su futuro uso.

En primer lugar, fue necesario identificar qué barreras limitarían que esta tecnología pueda llegar a ser implementada en la población estudiada, para lo cual se hizo la respectiva revisión bibliográfica y validación con entrevistas a 06 profesionales en el rubro. Se identificó un total de 13, los cuales pasaron por una prueba de Análisis Factorial Exploratorio para ser agrupados en: Innovación, limitaciones financieras, desafíos culturales y entorno operativo. También, fueron analizadas según la etapa, tipo de proyecto y el tamaño de la empresa.

Luego, se realizó un proceso similar para identificar y analizar los beneficios si esta tecnología lograra ser implementada, tomando en consideración las características organizacionales. Se identificaron un total de 11, los cuales fueron agrupados según: ventajas competitivas, optimización económica de procesos, mejora en la seguridad y salud, y eficiencia de procesos.

A partir de lo anterior, se desarrolló una propuesta de hoja de ruta, con una serie de estrategias basadas en la colaboración, transparencia, visión a largo plazo, reflexión, análisis y mejora continua. Se proponen cuatro fases: Revisión del contexto de la empresa, evaluación de soluciones robóticas, gestión de costos con preparación del sitio, y la integración del robot con el cierre del proyecto. Para cada fase, se definieron procesos, en los cuales se debe recopilar información y/o generar documentos específicos, planteando las respectivas entradas, herramientas y salidas.

Finalmente, se desarrolló la validación de la propuesta de hoja de ruta, haciendo la simulación de su aplicación con una empresa constructora y generándose un ejemplo de toda la información que debería recopilarse y generarse. Se decidió analizar la partida de instalación de paneles de drywall, tomándose un proyecto de ejemplo e identificando el robot más idóneo y definiendo explicando el desarrollo de todos los procesos asociados. Se logró hacer la estimación del costo de la hora máquina del

robot elegido, se hizo la comparación entre los rendimientos del robot respecto al trabajo tradicional de la mano de obra, así como la comparación de costos.

Lista de tablas

Tabla 1. Porcentaje de presencia de robots según la categoría de construcción	25
Tabla 2. Aplicaciones in situ de tecnologías robóticas	25
Tabla 3. Propuesta de Oke et al. (2021) para superar las barreras de implementación de robots en Nigeria	27
Tabla 4. Parámetros del modelo ConRoX	28
Tabla 5. Metodología empleada en la investigación	33
Tabla 6. Datos sobre los expertos seleccionados	35
Tabla 7. Alfa de Cronbach de lista de barreras	45
Tabla 8. Alfa de Cronbach de lista de beneficios	45
Tabla 9. Lista de barreras identificadas	46
Tabla 10. Lista de barreras ordenadas según su RII	47
Tabla 11. Valores de KMO y prueba de esfericidad de Barlett para la lista de barreras	49
Tabla 12. Valores de comunalidad de la lista de barreras	50
Tabla 13. Matriz de componente rotado de la lista de barreras	51
Tabla 14. Varianza total explicada SPSS	52
Tabla 15. Agrupación de barreras según AFE	52
Tabla 16. Lista ordenada de barreras por etapas de proyectos en función al RII	55
Tabla 17. Prueba de Kruskal-Wallis para proyectos en etapa de diseño y construcción	57
Tabla 18. <i>Lista ordenada de barreras por tipo de proyectos en función al RII</i>	57
Tabla 19. Prueba de Kruskal-Wallis para proyectos de tipo edificaciones e infraestructura	59
Tabla 20. Lista ordenada de barreras por tamaño de empresa en función al RII	60
Tabla 21. Prueba de Kruskal-Wallis para Microempresas y Pequeñas empresas	62
Tabla 22. Prueba de Kruskal-Wallis para Pequeñas y Medianas empresas	63
Tabla 23. Prueba de Kruskal-Wallis para Medianas y Grandes empresas	65
Tabla 24. Prueba de Kruskal-Wallis para MYPEs y Medianas empresas	66
Tabla 25. Prueba de Kruskal-Wallis para MYPEs y Grandes empresas	67
Tabla 26. Lista de beneficios identificados	68
Tabla 27. Lista de beneficios ordenados según su RII	69
Tabla 28. Valores de KMO y prueba de esfericidad de Barlett para la lista de beneficios	71
Tabla 29. Valores de comunalidad de la lista de beneficios	71
Tabla 30. Matriz de componente rotado de la lista de beneficios	72
Tabla 31. Varianza total explicada SPSS	73

Tabla 32. Agrupación de beneficios según AFE	74
Tabla 33. Lista ordenada de beneficios por etapas de proyectos en función al RII	76
Tabla 34. Prueba de Kruskal-Wallis para proyectos en etapa de diseño y construcción	78
Tabla 35. Lista ordenada de beneficios por tipo de proyectos en función al RII	79
Tabla 36. Prueba de Kruskal-Wallis para proyectos de tipo edificaciones e infraestructura	80
Tabla 37. Lista ordenada de beneficios por tamaño de empresa en función al RII	81
Tabla 38. Prueba de Kruskal-Wallis para Microempresas y Pequeñas empresas	83
Tabla 39. Prueba de Kruskal-Wallis para Pequeñas y Medianas empresas	84
Tabla 40. Prueba de Kruskal-Wallis para Medianas y Grandes empresas	85
Tabla 41. Principios de la hoja de ruta	89
Tabla 42. Impulsores de la hoja de ruta	91
Tabla 43. Procesos de la Fase 1 de la hoja de ruta	94
Tabla 44. Procesos de la Fase 2 de la hoja de ruta	98
Tabla 45. Procesos de la Fase 3 de la hoja de ruta	102
Tabla 46. Integración del robot y cierre del proyecto: entradas, herramientas y salidas	106
Tabla 47. Entradas y salidas de la hoja de ruta: artefactos	109
Tabla 48. Herramientas de la hoja de ruta	112
Tabla 49. Profesionales seleccionados como expertos para la validación de la hoja de ruta	114
Tabla 50. Matriz de retroalimentación de los expertos seleccionados	116
Tabla 51. Calificación de las fases según los expertos	118
Tabla 52. Valores de rango promedio de las fases	118
Tabla 53. Características de la empresa del caso de estudio	123
Tabla 54. Matriz del Análisis FODA para el caso de estudio	127
Tabla 55. Resumen de proyectos actuales de la empresa	129
Tabla 56. Influencias internas y externas para el caso de estudio	129
Tabla 57. Características del proyecto multifamiliar para el caso de estudio	130
Tabla 58. Procesos constructivos donde se puede implementar un robot	132
Tabla 59. Comparación de los costos asociados a los procesos constructivos	133
Tabla 60. Matriz de decisiones para el caso de estudio	133
Tabla 61. Características del robot a utilizar para la partida de instalación de drywall	134
Tabla 62. Comparación de alternativas de robots	135
Tabla 63. Matriz de evaluación de robots	136
Tabla 64. Análisis de precios unitarios	142

Tabla 65. Comparación de costos de la partida de instalación de drywall para el caso de estudio	142
Tabla 66. Riesgos identificados para la implementación del robot en la partida de instalación de drywall	144
Tabla 67. Tabla de registro de especificaciones del robot elegido	145
Tabla 68. Protocolos de seguridad para la implementación del robot "Build-R Robot"	146
Tabla 69. Tabla de herramientas del Sistema de Gestión de Calidad (SGC)	146
Tabla 70. Informe de acondicionamiento del robot Build-R	147
Tabla 71. Programación del Build.R robot	149

Lista de figuras

Figura 1. Sistemas automatizados	23
Figura 2. Robots in situ	24
Figura 3. HRP-5P y Build-R's robot.....	27
Figura 4. Framework propuesto por Bou y Nassereddine (2020)	29
Figura 5. Distribución de profesiones de los encuestados	40
Figura 6. Años de experiencia profesional de los encuestados	40
Figura 7. Años de experiencia en edificaciones.....	41
Figura 8. Cargo o puesto laboral de los encuestados.....	42
Figura 9. Rubro de la organización en la cual trabajan los encuestados.....	43
Figura 10. Tipo de proyecto en el que participan los encuestados.....	44
Figura 11. Tamaño de la organización de los encuestados.....	45
Figura 12. Valores de la hoja de ruta.....	87
Figura 13. Principios de la hoja de ruta	90
Figura 14. Impulsores de la hoja de ruta.....	92
Figura 15. Fases de la hoja de ruta.....	93
Figura 16. Revisar el estatus de la empresa: entradas, herramientas y salidas	95
Figura 17. Revisar el estatus de proyectos: entradas, herramientas y salidas	96
Figura 18. Revisar influencias de la empresa: entradas, herramientas y salidas.....	97
Figura 19. Revisar influencias de la empresa: entradas, herramientas y salidas.....	99
Figura 20. Analizar el proceso constructivo seleccionado: entradas, herramientas y salidas	100
Figura 21. Analizar las alternativas disponibles de robots: entradas, herramientas y salidas	101
Figura 22. Determinar el presupuesto: entradas, herramientas y salidas.....	103
Figura 23. Identificar riesgos: entradas, herramientas y salidas	104
Figura 24. Acondicionar el lugar de trabajo: entradas, herramientas y salidas	105
Figura 25. Instalar el robot: entradas, herramientas y salidas	107
Figura 26. Cerrar el proyecto: entradas, herramientas y salidas.....	108
Figura 27. Hoja de ruta para implementar robots en proyectos multifamiliares.....	120
Figura 28. Vista del proyecto multifamiliar	131

Lista de símbolos y siglas

- AFE : Análisis Factorial Exploratorio
- RII : Relative Importance Index
- KMO : Medida de Kalser-Maier-Olsen
- RT : Código asignado a las barreras para la implementación de robots
- IN : Categoría de agrupación de barreras: Innovación y marco regulatorio desafiante
- FI : Categoría de agrupación de barreras: Limitaciones financieras y obstáculos estratégicas
- CT : Categoría de agrupación de barreras: Desafíos culturales y tecnológicos
- EO : Categoría de agrupación de barreras: Entorno operativo
- BN : Código asignado a los beneficios de la implementación de robots
- VC : Categoría de agrupación de beneficios: Ventaja competitiva y satisfacción de interesados
- OE : Categoría de agrupación de beneficios: Optimización económica en procesos constructivos
- SL : Categoría de agrupación de beneficios: Mejora en seguridad laboral y salud ocupacional
- PC : Categoría de agrupación de beneficios: Eficiencia y mejora de procesos en la construcción
- 4PIF : Estructura de la hoja de ruta "4 Principios + 4 Impulsores + 4 Fases"

Capítulo I: Introducción

1.1 Generalidades

1.1.1. Antecedentes de la investigación

Oke et al. (2021) desarrolló su investigación titulada “Modelización de las barreras a la implementación de la robótica en proyectos de construcción en países en desarrollo” en la cual realizó una revisión bibliográfica y, mediante un cuestionario, las partes interesadas del sector de la construcción de Nigeria evaluaron las barreras identificadas utilizando la técnica de análisis factorial exploratorio (AFE). Además, implementó un modelo de estas barreras mediante un modelado de ecuaciones estructurales de mínimos cuadrados parciales. Se examinó la importancia y el orden de prioridad de dichas barreras mediante el análisis PLS-SEM (Modelo de ecuaciones estructurales por mínimos cuadrados parciales). Los resultados mostraron que los profesionales de la construcción de Nigeria tienen un buen nivel de conocimiento sobre la implementación de la robótica, pero su aplicación práctica sigue siendo deficiente. Las barreras que impiden la implementación de la robótica se clasifican en las categorías de “Costo” y “Tecnología”, siendo las barreras tecnológicas las más significativas. Además, la investigación recomendó que las instituciones de educación superior ofrezcan formación en nuevas tecnologías y su aplicación en proyectos de construcción, para ampliar el conocimiento de los estudiantes y prepararlos para la industria. Finalmente, recomendó que las empresas constructoras informen a los profesionales sobre la importancia y las ventajas de la implementación de la robótica, y ofrezcan formación periódica en nuevas tecnologías.

Hatoum y Nassereddine (2020) en su investigación titulada “Desarrollo de un marco para la implementación de la robótica en las empresas de construcción” presentaron un marco sencillo como hoja de ruta para guiar a las empresas en la implementación de la robótica, la cual representa una parte clave de la automatización del sector. A través de esta investigación, los autores obtuvieron las principales barreras y beneficios que les permitieron establecer un marco compuesto de 3 facetas para la implementación de robots con recomendaciones que incluyó estrategias para hacer frente a los retos de su implementación. Las facetas en cuestión son: organización, tecnología y personas, donde cada una de ellas tiene barreras que deben superarse

antes de avanzar en la implementación de la robótica. Los autores recomendaron que otros estudios pueden ampliar sus aspectos técnicos, incluyendo los tipos de actividades que pueden automatizarse y los robots disponibles para llevar a cabo esta automatización. Además, en la investigación se sugirió que se realicen entrevistas a ejecutivos de empresas de construcción para validar y mejorar el marco, y añadir nuevas recomendaciones si es necesario.

Pasco (2006) a través de su investigación titulada “Propuesta para la implementación de un sistema de soldadura por robot en una empresa metalmecánica peruana” pretendió establecer pautas y criterios generales a partir del uso de buenas prácticas de gestión de proyectos para la implementación de un sistema de soldadura por robot. En su investigación, consideró el entorno empresarial en el que se desarrolló, el alcance del proyecto, la gerencia y el ciclo de vida. También, consideró el segmento de negocio más importante de la empresa, los procesos de soldadura en general y temas relacionados con la productividad del proceso de soldadura. Además, realizó un estudio de las piezas soldadas en la empresa para determinar las que serían captadas por el sistema de soldadura por robot. Se indicó el proceso de selección del robot, considerando aspectos de diseño de las piezas soldadas, requerimientos de la producción, ambiente de fabricación y evaluación financiera. En su investigación también se trataron aspectos relacionados con la capacitación del personal, la instalación, puesta a prueba del robot, y el cierre del proyecto. Finalmente, se efectuó la evaluación de costos y presentó un análisis económico con base en las estimaciones realizadas previamente.

Polastri (2020) en su investigación titulada “Aplicación de los robots en el sector servicios” estudió la interacción que se generó entre el sector servicios y los robots, aplicado a un caso real, y planteó soluciones empleando robots que ayudaron a mejorar la productividad y rapidez del servicio, permitiendo incrementar la satisfacción del cliente. El caso real donde se aplicó fue en la cadena de Hoteles Hilton donde se implementaron robots en colaboración con IBM (Corporación “International Business Machines”) con los siguientes objetivos: reducir tiempos de espera, aumentar la productividad de la mesa de ayuda del hotel y mejorar la experiencia del cliente en el hotel. Durante la investigación, se realizó un estudio cuantitativo donde logró determinar tres indicadores que confirmaron el logro de los objetivos mencionados

anteriormente. Se concluyó que el uso de robots en el sector servicios en la realidad peruana es viable siempre que el hotel donde se implementen tenga la capacidad para realizar la inversión necesaria y los clientes lo consideren como algo distintivo e innovador. Asimismo, su aplicación en áreas adecuadas y la medición del impacto generado son factores muy importantes para poder determinar el éxito o el fracaso de su implementación. Finalmente, se indicó que, siguiendo este caso de éxito, es posible innovar a través de cualquier tipo de servicio o industria volviendo el servicio más rápido y eficiente.

Basado en lo anterior, se observa que las investigaciones han realizado revisiones bibliográficas y análisis de barreras para la implementación de robots con el objetivo de brindar recomendaciones generales para su implementación en la industria de la construcción. Sin embargo, aún no existe un modelo definido para la implementación de robots en la industria de la construcción y mucho menos para alguna partida en específico. Es decir, solo existen breves lineamientos sin detalle que no garantizan el éxito de la implementación de esta tecnología. Por ello, en esta tesis se busca desarrollar una hoja de ruta para implementar robots, en específico, para la partida de instalación de drywall en edificaciones multifamiliares en Lima.

1.1.2. Marco de la investigación

El estudio siguió el marco de investigación de la “Herradura” o conocido como “CIFE Horseshoe Research Method”. Este método fue propuesto por el Center for Integrated Facility Engineering de la Universidad de Stanford y está compuesto por una serie de pasos que permiten a los investigadores a definir el problema, diseñar la metodología y validar su investigación (Huamán, 2021). Este método consiste en alinear la investigación teórica con los modelos científicos para obtener soluciones basadas en la arquitectura, la construcción e ingeniería (Abrishami et al., 2020). Este método plantea un proceso iterativo impulsado por la observación del problema práctico, una exhaustiva revisión bibliográfica y estudios de casos (Nepal, 2013).

1.2 Alcance y límite de la investigación

La presente investigación se centra en orientar la adecuada implementación de robots en la partida de instalación de drywall en edificaciones multifamiliares a través de la revisión de bibliografía y recopilación de percepciones del sector académico y profesional sobre las barreras y beneficios de la implementación de robots en proyectos multifamiliares.

Posteriormente, se generará un registro de barreras y beneficios, los cuales serán analizados estadísticamente para determinar qué barreras son las más importantes según la fase de proyecto, tipo de proyecto y tamaño de organización, lo cual permitirá que se comprenda a detalle el fenómeno en estudio.

Luego, se planteará una propuesta de hoja de ruta basada en el análisis estadístico antes mencionado y en las estrategias que permitan afrontar las barreras para la implementación de robots y explotar los beneficios de su implementación. Esta hoja de ruta será revisada por profesionales expertos quienes brindarán comentarios u observaciones para enriquecer la propuesta. Finalmente, la hoja de ruta será evaluada con un caso de estudio de implementación de un robot en la partida de instalación de drywall en una edificación multifamiliar en Lima, lo cual permitirá validar la hoja de ruta propuesta.

1.3 Planteamiento de la realidad problemática

En proyectos de construcción en Perú, la productividad de la mano de obra es notablemente baja, ya que se estima que solo el 28% de las actividades realizadas por los trabajadores son consideradas como trabajo productivo (Huamán, 2021). Otros problemas asociados a la industria de la construcción como la disminución de la calidad, la escasez de mano de obra y la falta de seguridad han puesto de manifiesto la necesidad de utilizar herramientas innovadoras en el sector (Mahbub, 2012).

Para superar este problema, una herramienta tentativa consiste en la implementación de tecnologías de automatización y robótica, que tienen el potencial de mejorar la industria en términos de productividad, seguridad y calidad (Mahbub, 2015). Sin embargo, esta implementación genera diversas barreras que limitan su implementación satisfactoria y dependen del país, tipo de industria y empresa donde se implante (Oke et al, 2021).

Si bien ya se han realizado algunos estudios para identificar estas barreras, especialmente en empresas de construcción internacionales (Oke et al, 2021), estos estudios se limitaron a países desarrollados y no consideraron países en desarrollo como Perú, por lo que han recomendado que se desarrollen investigaciones ya que la implementación de tecnologías robóticas podría ser valiosa en dichos países. Es importante tener en consideración que la implementación de robots de forma parcial o defectuosa puede ocasionar resultados desfavorables a los esperados (Law et al, 2022). Esto se debe a que usualmente las organizaciones de la industria de construcción se encuentran sin un rumbo u objetivo claro al iniciar el proceso de implementación porque no existe un modelo de implementación definido (Hatoum y Nassereddine, 2020). Esta situación conduce a la necesidad de formulación de una hoja de ruta que guíe la implementación de robots en procesos constructivos.

Esta tesis se basa en orientar la implementación de robots a través de una hoja de ruta. En esta investigación, se seleccionó como alcance la partida de instalación de drywall en proyectos multifamiliares de Lima. Se propone desarrollar un modelo basado en las opiniones de expertos peruanos para analizar los obstáculos a la adopción de la robótica en el sector construcción. Como resultado de esta investigación, se reducirá la brecha entre la realidad y la teoría en la adopción de la robótica.

1.4 Problema

1.4.1. Problema general

¿Cómo orientar la adecuada implementación de robots en la partida de instalación de drywall en edificaciones multifamiliares en Lima?

1.4.2. Problemas específicos

- ¿Cómo identificar las barreras que limitan la implementación de robots en proyectos multifamiliares en Lima?
- ¿Cómo identificar los beneficios de implementar robots en proyectos multifamiliares en Lima?

- ¿Cómo identificar las estrategias para la implementación exitosa de robots en la partida de instalación de drywall en edificaciones multifamiliares en Lima?
- ¿Cómo validar la propuesta de hoja de ruta para la implementación de un robot en la partida de instalación de drywall en edificaciones multifamiliares en Lima?

1.5 Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Proponer una hoja de ruta para implementar adecuadamente robots en la partida de instalación de drywall en edificaciones multifamiliares en Lima.

1.5.2. Objetivos específicos

- Identificar las barreras que limitan la implementación de robots en proyectos multifamiliares en Lima.
- Identificar los beneficios de implementar robots en proyectos multifamiliares en Lima.
- Desarrollar una hoja de ruta basada en estrategias para la implementación exitosa de robots en la partida de instalación de drywall en edificaciones multifamiliares en Lima.
- Validar la propuesta de hoja de ruta a través de su aplicación en un caso de estudio de implementación de un robot en la partida de instalación de drywall en una edificación multifamiliar en Lima.

1.6 Formulación de la hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

El desarrollo de una hoja de ruta, basada en las principales barreras y beneficios afines al tema, permitirá orientar la implementación de robots en la partida de instalación de drywall en edificaciones multifamiliares en Lima.

1.6.2. Hipótesis específicas

- La revisión bibliográfica permite identificar las barreras que limitarían la implementación de robots en proyectos multifamiliares en Lima.

- La revisión bibliográfica permite identificar los beneficios de implementar robots en proyectos multifamiliares en Lima.
- El desarrollo de una hoja de ruta permite identificar las estrategias para la implementación exitosa de robots en proyectos multifamiliares en Lima.
- La aplicación de la propuesta de hoja de ruta en un prototipo de edificación multifamiliar en Lima permite validar las estrategias que se proponen para la implementación de robots en la partida de instalación de drywall.

Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual

2.1 Modelos de innovación en empresas

2.1.1 Revisión de literatura internacional

a) Modelo de Seaden y Manseau (2001)

Este modelo revisó 15 casos de países diferentes a lo largo de un análisis de 3 años de estudio comparativo de las políticas de innovación en el ámbito de la construcción. Según esta investigación, la actitud del gobierno fue variada según los diferentes países, desde la indiferencia o la "negligencia benigna" hasta la ejecución de revisiones en profundidad de la industria nacional de la construcción para mejorar la productividad, la gestión y la calidad. Este modelo recomienda dar énfasis en las políticas públicas y en los sistemas de difusión de la tecnología existente y las prácticas superiores. Esta investigación señala que los principales motores de la innovación suelen crearse a nivel de empresa, en un contexto macroeconómico estimulante.

b) Modelo de Sexton y Barrett (2003)

Esta investigación muestra una revisión general de la literatura sobre innovación en pequeñas empresas de construcción. La literatura existente al respecto proporcionó información importante, sin embargo, se evidenció la falta de una dirección clara y holística. Los autores señalan que existen vacíos en la literatura existente que dificultan seriamente la comprensión de las prácticas de innovación. Por ello, los autores plantearon un modelo que tiene el potencial de proporcionar un instrumento de diseño para producir una innovación equilibrada en pequeñas empresas de construcción, programas de investigación y proyectos.

c) Modelo de Dikmen, Birgonul, y Artuk (2005)

Esta investigación introduce un modelo conceptual para profundizar en el sistema de innovación de las empresas de construcción, el cual incluyó una visión más amplia para conceptualizar el sistema de innovación que tomó en cuenta las estrategias y objetivos de una empresa, así como las barreras y facilitadores internos y externos. Los autores indicaron que el propósito de su modelo no era hacer generalizaciones sobre cómo funciona el sistema de innovación en todas las empresas, sino enseñar cómo puede utilizarse el modelo planteado en otras empresas de construcción o proyectos.

d) Modelo de Pellicer et al. (2014)

En esta investigación se sostiene que la gestión del conocimiento organizacional puede transferir los resultados obtenidos a otros proyectos, tanto constructivos como innovadores. También, señalaron la importancia de la colaboración con socios tecnológicos y la gestión de equipos multidisciplinares, los cuales son fundamentales para la innovación en las empresas de construcción. Los autores también indicaron que la implementación de un sistema de gestión de la innovación se beneficiaba de la preexistencia de un sistema de gestión de la calidad.

2.1.2 Revisión de literatura nacional

a) Análisis de factores que influyen en el desarrollo de innovaciones (Almeyda, 2016)

Esta investigación analiza a una empresa de construcción y consideró a los drivers, recursos, actividades, barreras, facilitadores y resultados como factores que influyen en el desarrollo de innovaciones en empresas de construcción. Se encontró que cada iniciativa de innovación tiene una naturaleza particular, pues en esta influyen diversos factores de acuerdo con el tiempo en el cual se desarrollan dichos proyectos de innovación. Esta investigación incluyó en los factores: recursos limitados, conocimiento tácito de profesionales expertos, información técnica propia del proceso, y específicas condiciones macroeconómicas, políticas, sociales y ambientales.

b) Modelo de aceptación y uso de innovaciones en proyectos de construcción (Díaz y Fabián, 2021)

Los autores incluyeron en su modelo los motivadores más influyentes: la expectativa de mejora del proyecto y la ventaja relativa, y consideraron como facilitadores: la experiencia del equipo, el trabajo colaborativo, el soporte de gerencia, la comunicación efectiva y la infraestructura adecuada. El modelo planteado indica también que las empresas se ven mayormente motivadas internamente que externamente para tomar la decisión de aceptar una innovación.

2.1.3 Estado actual de la innovación en el sector construcción

Según Maceli (2017), la situación de la innovación en el Perú ha mejorado en los últimos 10 años, el país ha salido de la época de crisis y ha logrado reunir capital para

invertir en diversos proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. Los representantes de empresas entrevistadas en la investigación indicaron que no priorizan la innovación como un elemento de competitividad porque en el sector construcción destacan por precio y plazo, a pesar de que el 100% de ellos indicaron que la implementación de un sistema de gestión de la innovación permitía el incremento de la competitividad de la empresa.

Además, esta investigación señala que el estado actual del sector de la construcción peruano es óptimo y recomienda implementar un sistema de gestión de innovación, para cuidar los conocimientos adquiridos, aplicarlos y normarlos. El autor recomienda evaluar con detalle las inversiones asociadas a las innovaciones ya que no son siempre económicas, pero las bondades obtenidas a partir de las innovaciones generan mejoras significativas a largo plazo.

2.2 Robótica

2.2.1 Tecnologías de automatización y robótica

Los tipos de tecnologías de automatización y robótica para la construcción pueden agruparse en cuatro categorías generales (ver Figura 1): (1) Sistemas de prefabricación fuera de la obra, (2) Sistemas automatizados y robóticos in situ, (3) Drones y vehículos autónomos, y (4) Exoesqueletos (Delgado et al., 2019).

Figura 1. *Sistemas automatizados*



(a)



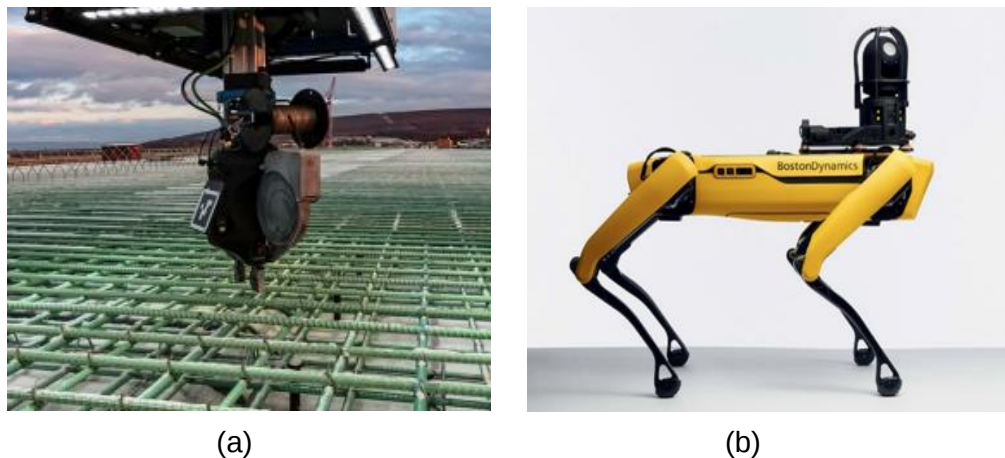
(b)

Fuente: (a) Sistemas de prefabricación fuera de la obra para barras de acero. Tomado de: Momeni et al. (2022). (b) Sistemas automatizados y robóticos in situ: Robot de acabado de paneles de drywall. Tomado de: Brosque y Fischer (2022).

2.2.2 Robot in situ

Hace referencia a los sistemas automatizados y robotizados que pueden utilizarse directamente en la obra para crear estructuras y edificios (ver Figura 2). El primer tipo de sistemas utilizados fueron los robots de construcción de una sola tarea (STCR), que pueden ejecutar una única tarea de forma repetitiva (Dritsas y Soh, 2018). Este enfoque es muy flexible porque podría adaptarse fácilmente a otros métodos de construcción tradicionales (Delgado et al., 2019).

Figura 2. *Robots in situ*



Fuente: (a) Robot de atado de armaduras TyBot. (b) Robot de captura de realidad Spot de Boston Dynamics. Tomado de: Brosque y Fischer (2022).

2.3 Robótica en la construcción

La robótica apareció en la industria de la construcción como una oportunidad para enfrentar los desafíos actuales como la complejidad y dificultad de los grandes proyectos de infraestructura y edificaciones (Khoshnevis, 2004). Actualmente, existen varios métodos y sistemas que utilizan la tecnología de automatización y robótica para su uso en la construcción (Cai et al., 2018).

2.3.1. Presencia de robots en la construcción

Gharbia et al. (2020) realizó una revisión bibliográfica sobre aplicaciones de robots en el sector construcción y encontró que el 35% de estos fueron desarrollados para la

construcción de estructuras de concreto, siendo el grupo más importante (ver Tabla 1). El segundo grupo más importante fue el de acabados interiores seguido por los robots para acabados exteriores y construcción de muros de albañilería.

Tabla 1. Porcentaje de presencia de robots según la categoría de construcción

Categoría de Construcción	Porcentaje
Estructuras de concreto	35%
Acabados interiores	17%
Acabados exteriores	15%
Muros de albañilería	15%
Estructuras de acero	13%
Elementos prefabricados	4%

Fuente: Tabla extraída de: Gharbia et al. (2020).

2.3.2. Tipos de tecnologías robóticas y sus aplicaciones in situ

Gharbia et al. (2020) encontró doce tipos de aplicaciones de tecnología robótica dentro de las cuales destacan albañilería robotizada, sistema de fabricación robotizada in situ y tecnología de impresión de concreto celular. A continuación, se muestra la Tabla 2 con cuatro de esas categorías, sus descripciones y aplicaciones in situ.

Tabla 2. Aplicaciones in situ de tecnologías robóticas

Tecnología	Descripción	Aplicación in-situ
Fabricación aditiva (AM)	Un sistema robótico articulado, de pórtico, de robot paralelo accionado por cable (CDPR) o basado en un trazador que extruye el material de impresión capa a capa o produciendo directamente in situ el elemento de construcción.	Estructuras de concreto, acabados interiores
Sistema de montaje robotizado automatizado	Un sistema robótico de tipo tijera o pórtico de inteligencia limitada con dispositivos de agarre/atornillado para el montaje automático de elementos de construcción	Estructuras de acero, muros de mampostería, edificios/elementos prefabricados
Sistema de fabricación robotizada in situ	Un sistema robótico articulado con una pinza o fabricante para fabricar elementos de construcción in situ	Estructuras de concreto, muros de mampostería

Construcción robótica distribuida	Un equipo en red de robots articulados con una pinza en plataformas móviles para ensamblar elementos de construcción mediante partición distribuida de igual masa	Estructuras de acero
-----------------------------------	---	----------------------

Fuente: Tabla extraída de: Gharbia et al. (2020).

2.3.3. Robots para la instalación de drywall

El Sistema "Drywall" es un sistema de construcción que se usa a nivel mundial en forma masiva en todo tipo de edificaciones: multifamiliares, comerciales, educacionales, hoteleras, hospitalarias, industriales, entre otros. El Sistema "Drywall" se basa en paneles conformados por perfiles de acero galvanizado laminados en frío, revestidos con planchas de yeso, fibrocemento o aglomerados de madera (Carrera, 2006). Estos sistemas son regularmente utilizados en proyectos multifamiliares en paredes interiores y exteriores. Este sistema drywall ha adquirido popularidad debido a que se instala de manera limpia, rápida e ideal para edificaciones sismo resistentes (Suarez, 2022).

Los proyectos multifamiliares hacen referencia a proyectos de construcción de una vivienda multifamiliar, la cual es una construcción vertical que está dividida en varias unidades de viviendas integradas que comparten el terreno como bien común. Estas viviendas se integran principalmente en bloques y comparten servicios referentes a escaleras y ascensores, entre otros (Realia, 2023).

Actualmente, existen dos prototipos de robots que destacan por su capacidad para instalar paneles de drywall: HRP-5P y Build-R's (ver Figura 3). El robot HRP-5P, desarrollado por el Instituto de Ciencia y Tecnología Industrial Avanzada de Japón, es un robot humanoide diseñado para realizar tareas básicas de construcción, incluyendo la instalación de paneles de drywall. Este robot puede manipular herramientas y materiales de manera autónoma, imitando movimientos humanos para realizar tareas complejas en entornos de construcción (Zhang, 2020). Por otro lado, el robot Build-R's, creado por SynerLeap en Suecia, es un robot autónomo específicamente diseñado para la colocación de paneles de drywall. A diferencia de HRP-5P, Build-R's está pensado para trabajar de manera colaborativa con carpinteros, automatizando una tarea que es pesada y monótona, lo que mejora la eficiencia y reduce la carga de trabajo manual en el sitio de construcción (Brosque et al., 2020).

Figura 3. HRP-5P y Build-R's robot



(a)



(b)

Fuente: (a) HRP-5P. Tomado de: Zhang (2020) (b) Build-R's robot. Tomado de: Brosque et. al (2020)

2.4 Modelos de superación de barreras para la implementación de robots

2.4.1. Modelo para superar las barreras de implementación en países de desarrollo

Durante esta investigación se planteó un modelo para afrontar las categorías de barreras más importantes que identificó: costo y tecnología. Cabe precisar que este estudio fue desarrollado en Nigeria, el cual es considerado un país en desarrollo. La priorización de barreras de esta investigación se desarrolló mediante el análisis PLS-SEM (Modelización de ecuaciones estructurales por mínimos cuadrados parciales). A partir de ello, se plantearon las siguientes propuestas para superar las barreras en el lugar de estudio (ver Tabla 3).

Tabla 3. Propuesta de Oke et al. (2021) para superar las barreras de implementación de robots en Nigeria

Aspecto	Propuesta
Académico	Las instituciones superiores deberían ampliar los conocimientos de sus estudiantes sobre nuevas tecnologías de construcción y su aplicación a proyectos reales. De esta manera, se obtendrán profesionales mejor preparados para afrontar las barreras de conocimiento.
Laboral	Las empresas constructoras deben informar a los profesionales de la construcción sobre la importancia y las ventajas de la implementación de la robótica. Además, deberían organizarse

para capacitarlos sobre las nuevas tecnologías en este campo.

Profesional	Se debe fomentar que los profesionales del sector construcción adquieran conocimientos y se mantengan actualizados profesionalmente sobre las últimas tendencias en construcción para incrementar su competitividad en la industria de la construcción.
Operativo	Los proveedores deberían garantizar que el costo de adquisición de equipos robóticos se reduzca sin reducir la calidad. Esto permitirá que la implementación sea fácil y accesible para las partes interesadas en comprar e implantar estos robots.

Fuente: Tabla elaborada a partir de la investigación de Oke et al. (2021).

2.4.2. Modelo para superar las barreras de implementación en el sector de la construcción

Jakel et al. (2022) planteó un modelo para superar las doce barreras que identificó durante su revisión literaria. Este modelo, al que llamó ConRoX, es un marco genérico para superar las barreras existentes considerando todos los niveles necesarios de una empresa de construcción: organización, procesos y TI de una empresa. El modelo propuesto por Jakel et al. (2022) está compuesto por 3 parámetros interrelacionados: potenciales, facilitadores y resultados (ver Tabla 4).

Tabla 4. *Parámetros del modelo ConRoX*

Parámetro	Descripción
Potenciales	Este parámetro mide la creación de conocimiento sobre robótica, establece sinergia entre la tecnología a implementar y las características de la organización, así como identifica estrategias para superar las barreras para su implementación.
Facilitadores de implementación	Los facilitadores permiten la superación de barreras de implementación a través de la aplicación del modelo ConRoX. Además, se identificaron parámetros importantes para medir el éxito de la implementación de robots.
Resultados	Son los resultados del uso de las estrategias identificadas según los objetivos y campos de aplicación. A partir de los resultados se definen nuevas mejores prácticas en la organización.

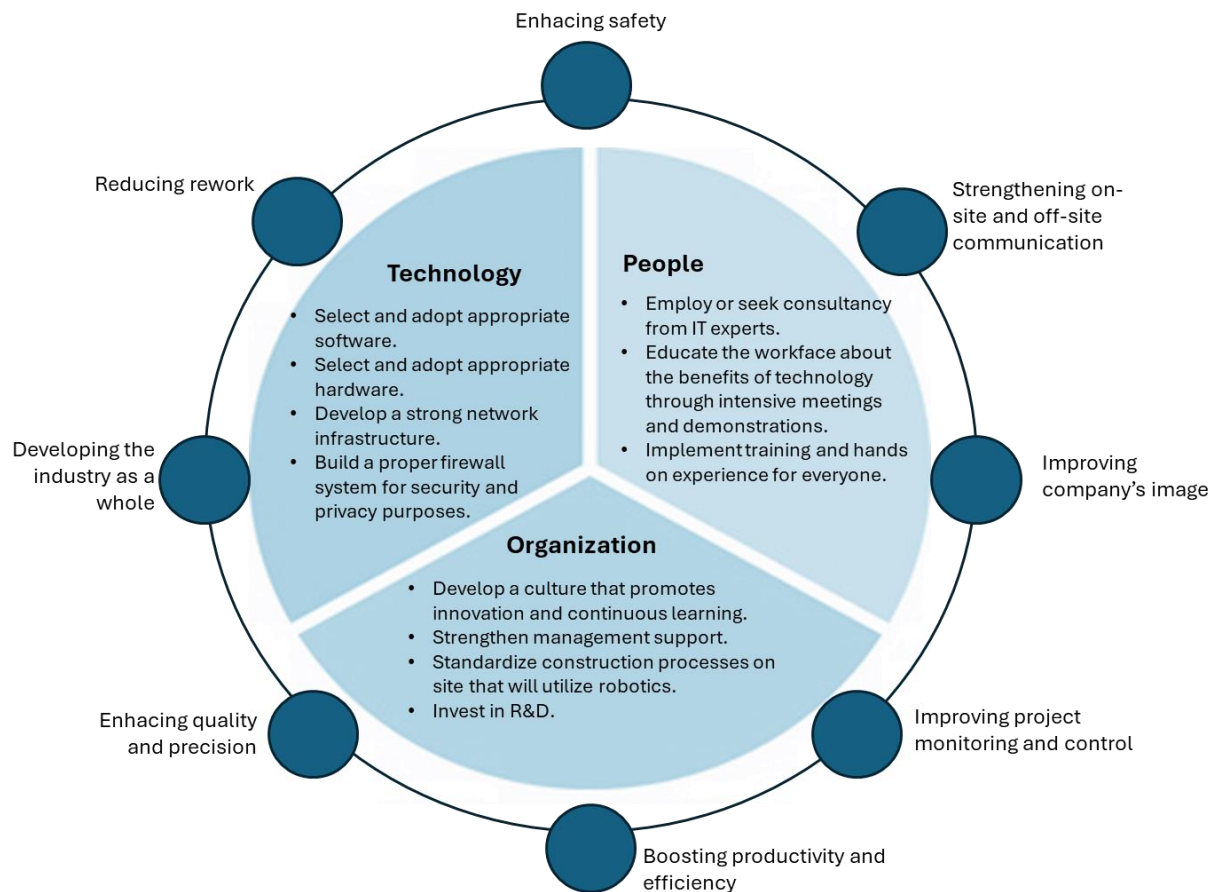
Fuente: Tabla elaborada a partir de la investigación de Jakel et al. (2022).

2.5 Modelos propuestos para la implementación de robots

2.5.1. Framework para la implementación de la robótica en empresas del sector construcción

El modelo propuesto por Bou y Nassereddine (2020) brinda recomendaciones para la implementación de robots en empresas del sector construcción. El marco propuesto incluye 3 factores importantes: organización, personas y tecnología. En la Figura 4 se muestra que cada uno de los factores tiene barreras que deben superarse y abordarse para asegurar el éxito de la implementación.

Figura 4. Framework propuesto por Bou y Nassereddine (2020)



Fuente: Figura extraída de la investigación realizada por Bou y Nassereddine (2020).

2.5.2. Estructuración del contexto para el desarrollo de robots de construcción

La investigación desarrollada por Pan et al. (2020) adoptó un enfoque que le permitió analizar alternativas de escenarios futuros para la robótica en la industria de

construcción. Se identificó las fuerzas motrices de cada escenario para plantear estrategias adecuadas que maximicen las oportunidades y minimicen los riesgos negativos potenciales. A través de esta investigación se obtuvo una herramienta clave para el desarrollo integral y la ingeniería robótica, al permitir a las industrias estructurar el espacio de soluciones y mitigar así las incertidumbres en el proceso de ingeniería y gestión de requisitos.

2.6. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es la rama de la estadística que brinda recomendaciones de cómo resumir, de forma clara y sencilla, los datos de una investigación en cuadros, tablas, figuras o gráficos (Rendón-Macías et al., 2016). Para este estudio, se utilizaron gráficos circulares para observar la distribución de los profesionales de acuerdo con las consultas realizadas en la encuesta. Además, se revisó la confiabilidad de los datos con el coeficiente de Cronbach para determinar la homogeneidad de las respuestas, para lo cual valores de alfa de Cronbach entre 0,70 y 0,90 indican una buena consistencia interna (Oviedo y Campo-Arias, 2005).

2.7 Entrevista y selección de expertos

2.7.1. Selección de expertos

Según Ramírez y Martínez (2012), se entiende por experto a un individuo o grupo de personas capaces de ofrecer con un máximo de competencia, valoraciones conclusivas sobre un determinado problema, hacer pronósticos reales y objetivos y brindar recomendaciones. Para la selección de expertos, pueden tomarse en consideración aspectos como la ética profesional, la profundidad del conocimiento, la amplitud de enfoques, la independencia de juicios, etc. (Ramírez y Martínez, 2012).

2.7.2. Entrevistas con expertos

En estudios que presentan limitaciones con observaciones experimentales, se recomienda realizar entrevistas a expertos (Utkin, 2006). La validez de una propuesta o solución generalmente se evalúa a través de un panel o un juicio de expertos, y en muy raras ocasiones la evaluación está basada en datos empíricos (Ding & Hershberger, 2002). Meuser y Nagel (2009) proponen dos métodos para entrevistar expertos: entrevistas focales y entrevistas en serie.

- Entrevistas focales: requieren de procesos de interacción, discusión y elaboración de unos acuerdos dentro del grupo acerca de la propuesta o solución del investigador. Lo que distingue a los grupos focales es la participación dirigida y consciente, y las conclusiones producto de la interacción (Hamui y Varela, 2013).
- Entrevistas en serie: este tipo de entrevista permite mejorar el cuestionario conforme se avanza con las entrevistas fomentando la retroalimentación de forma exponencial. La desventaja es que algunos expertos pueden mostrar disconformidad con las mejoras planteadas por el anterior (Huamán, 2021).

2.8 Coeficientes de evaluación

Índice de Importancia Relativa (RII)

El RII se utiliza para determinar la importancia relativa de los factores implicados. Para determinar la importancia de cada uno de los factores se basa en el mayor valor del Índice de Importancia Relativa (RII). Diferentes factores tendrán diferente Índice de Importancia Relativa (IIR) y se utilizan para clasificar los factores (Azman et al, 2019).

Método Análisis Factorial Exploratorio (AFE)

El Análisis Factorial Exploratorio (AFE) es una técnica estadística multivariante que busca identificar un conjunto mínimo de constructos hipotéticos, conocidos como factores, dimensiones o variables. Estos factores buscan explicar de manera concisa la variación observada entre un grupo de variables medidas. AFE tiene como objetivo identificar los factores comunes que explican el orden y la estructura entre las variables medidas (Watkins, 2018).

Prueba de Kruskal Wallis

La prueba de Kruskal-Wallis es el análogo no paramétrico de análisis de varianza de un factor y detecta diferencias en la ubicación de distribución. La prueba supone que no hay ningún orden a priori de las poblaciones k de las cuales se extraen las muestras (IBM, 2021).

Coeficiente de Kendall (W)

Este método permite verificar la concordancia entre los juicios expresados por el grupo de expertos, con respecto a las evaluaciones que ofrecieron. Si el coeficiente de Kendall es mayor o igual a 0.5, existe concordancia de criterios entre todos los miembros que conforman el panel de expertos, por lo que el estudio puede valorarse como confiable (Medina-León et al. 2012).

Capítulo III: Análisis de barreras para la implementación de robots en Lima**3.1 Metodología de investigación**

Cabe mencionar que la presente investigación tomó en consideración el proceso lógico del marco de investigación de la Herradura (Skaar et al., 2022) . A continuación, se detallan las etapas más importantes en la Tabla 5.

Tabla 5. Metodología empleada en la investigación

Etapas	ID	Actividad	Entregable
Revisión literaria de barreras y beneficios	001	Identificar barreras y beneficios	Lista de barreras y beneficios
	002	Identificar modelos de implementación	Lista de modelos de implementación
Validación de barreras y beneficios: Juicio de expertos	003	Recopilar barreras y beneficios adicionales por parte de expertos	Lista de barreras y beneficios de expertos
	004	Validar barreras y beneficios con expertos	Juicio de expertos con 06 profesionales expertos
Encuesta a profesionales	005	Obtener 70 respuestas de ingenieros civiles peruanos	Encuestas completadas por profesionales
Análisis estadístico descriptiva - Alfa de Cronbach - RII	006	Validar características	Lista de barreras y beneficios principales
	007	Identificar principales barreras y beneficios	
Análisis y pruebas estadísticas - Agrupación de barreras y beneficios	008	Agrupar barreras y beneficios	Análisis Factorial Exploratorio: Lista de categorías
	009	Diferenciar el impacto de las barreras y beneficios por etapa de proyecto, tipo de proyecto y tamaño de empresa.	Ordenamiento según RII de las barreras más importantes según la segmentación.
	010	Realizar la prueba de Kruskal-Wallis	Diferencias del comportamiento de barreras y beneficios según la segmentación.
Revisión de literatura de hoja de ruta y formulación de hoja de ruta	011	Identificar modelos de hojas de ruta	Lista de modelos de hojas de ruta
	012	Formular hoja de ruta	Hoja de ruta preliminar
	013	Validar con 06 expertos	Validación inicial de hoja de ruta
Aplicación de la hoja de ruta a un caso de estudio	014	Buscar un caso de estudio	Selección de caso de estudio
	015	Aplicar hoja de ruta a un caso de estudio	Aplicación práctica y validación final de hoja de ruta

Fuente: Elaboración propia

- 1. Revisión de literatura de barreras y beneficios de la implementación de robótica:** Tuvo como objetivo identificar las barreras y beneficios, e identificar si existen modelos de implementación de robótica en el sector construcción.
- 2. Validación de barreras y beneficios con juicio de expertos:** Tuvo como objetivo recopilar barreras adicionales a las identificadas con la revisión bibliográfica. Además, el juicio de expertos permitió analizar y validar la lista de barreras y beneficios.
- 3. Encuesta a profesionales y análisis estadístico de los resultados:** Se elaboró una encuesta y fue compartida con la comunidad profesional de ingeniería civil. A partir de las respuestas, se realizó un análisis estadístico para identificar las principales barreras y beneficios, así como las percepciones del sector construcción frente a la implementación de robots.
- 4. Revisión de literatura y formulación de hoja de ruta:** Se identificaron buenas prácticas, estrategias y hojas de rutas planteadas en otros países. Luego, tomando en consideración los resultados del análisis estadístico, se planteó una hoja de ruta. Además, se validó inicialmente la hoja de ruta con un grupo de expertos.
- 5. Aplicación de la hoja de ruta:** Se seleccionó un caso de estudio en la partida de instalación de drywall en un proyecto multifamiliar, donde se aplicó la hoja de ruta propuesta.

3.2 Revisión literaria de barreras y beneficios de la implementación de robots

Evaluar el estado de la industria de la construcción es fundamental para determinar los factores que impiden que la industria adopte nuevas herramientas tecnológicas como robots (Razkenari et al., 2020). En este sentido, esta investigación pretende identificar las principales barreras y beneficios que surgen cuando se desea implementar robots en el sector construcción, y recopilar las percepciones de los profesionales y académicos del Perú para comprender el estado actual del sector construcción peruano.

Para ello, se consideró la revisión de literatura nacional e internacional. Para la revisión de literatura local, se consideró la revisión de tesis de pregrado y maestría en repositorios del Perú como RENATI (Registro Nacional de Trabajos de Investigación), ALICIA (Acceso Libre a Información Científica para la innovación) y los repositorios de tesis de las principales universidades del Perú.

Para la revisión de literatura internacional, se utilizaron reconocidos repositorios internacionales como Google Scholar, Research Gate Building Magazine, Scopus y Web of Science. A través de estos repositorios se hizo una búsqueda considerando términos clave como “robotic AND challenges”, “robotic AND factors”, “robotic AND barriers”, entre otros.

A través de la revisión literaria de 41 artículos científicos, se lograron identificar 15 barreras y 12 beneficios de la implementación de robots en el sector construcción a través de fuentes reconocidas como Scopus y Science Direct. Posteriormente, se validó la lista de barreras con 6 expertos profesionales quienes dieron sus comentarios y retroalimentación resultando al final una lista de 13 barreras y 11 beneficios.

3.3 Entrevista y validación con expertos

El objetivo de realizar estas validaciones fue alinear las barreras y beneficios identificados en la revisión bibliográfica, las cuales se obtuvieron de la literatura global. Por lo cual, fue necesario recibir la retroalimentación de profesionales expertos del sector construcción peruano de renombre y con impacto en la industria de construcción. De esta forma, se realizaron entrevistas semiestructuradas donde se les presentó unas diapositivas (ver Anexo A) sobre aspectos preliminares para la implementación de robótica y la lista de barreras y beneficios con el objetivo que puedan dar sus percepciones y validar cada uno de los elementos de las listas. Estas entrevistas se desarrollaron a través de reuniones virtuales con 06 profesionales expertos cuyas características se describen en la Tabla 6.

Tabla 6. Datos sobre los expertos seleccionados

Experto Profesional	Titulación académica y experiencia	Proyectos
Experto 01	Ing. Civil con más de 10 años de experiencia trabajando en Perú, Bolivia y Estados Unidos. Con experiencia en Lean, BIM y proyectos de construcción.	CPM Construction, Planning and Management, Graña y Montero - responsable de Estación Gamarra y Estación Grau
Experto 02	Ing. Civil con más de 10 años de experiencia y maestría en administración de negocios MBA, experiencia en el sector privado y público en dirección de proyectos.	Remodelación Edificio del centro de tarjetas de crédito - Interbank, Remodelación de Aeropuerto de cusco, Proyecto Larcomar

Experto 03	Ing. Civil con más de 12 años de experiencia laboral en edificaciones, en los sectores de viviendas, oficinas y hoteles en las áreas de costos, planeamiento, producción y dirección.	Encargado de la gestión integral de proyectos inmobiliarios, Gestión de proyecto de remodelación Pullman San Isidro y construcción de Pullman Miraflores
Experto 04	Ing. Civil con 14 años de experiencia, 12 años trabajando en edificaciones, Instructor de su empresa privada por 9 años.	Proyectos Industriales, Implementador de BIM en obras públicas, y MMC: Métodos modernos de construcción
Experto 05	Ing. Civil con maestría y 10 años de experiencia trabajando en edificaciones.	Edificaciones, Proyectos Retail, Almacenes
Experto 06	Ing. Civil con maestría en Administración de empresas con más de 15 años de experiencia. Técnico electrónico líder de Information Data.	Proyectos de Reconstrucción, Instalaciones de TI, Construcción de bloques de departamentos, casas y desarrollo de negocios.

Fuente: Elaboración propia

Las entrevistas con los expertos anteriormente mencionados fueron semiestructuradas de la siguiente forma: (01) obtener detalles de su perfil profesional, (02) aspectos preliminares para la implementación de robótica en la construcción, (03) presentación de lista de barreras, (04) presentación de lista de beneficios, (5) retroalimentación según sus experiencias, (6) oportunidades de mejora.

3.4 Encuesta a profesionales

La rápida evolución de las capacidades robóticas introduce la necesidad de reconocer el estado del arte de la investigación en la disciplina de la construcción e identificar los retos y lagunas de conocimiento para futuras investigaciones (Liang et al., 2021). Por ello, en la presente investigación se estudiaron las perspectivas sobre las barreras y beneficios de la implementación de robótica en la construcción. La población de estudio se limitó a todos los profesionales peruanos con más de 1 año de experiencia en edificaciones, ya que es un estudio novedoso y se desea obtener la percepción de todos los grupos etarios obteniendo de esta forma una visión holística.

3.4.1 Diseño de encuesta

La encuesta tuvo como foco de atención los profesionales peruanos del sector construcción, la cual estuvo estructurada de la siguiente forma:

- Información personal: datos personales y ocupación.

- Información laboral y profesional: años de experiencia profesional, experiencia laboral trabajando en edificaciones, rol que desempeña en su proyecto u organización, rubro de su organización, tipo de proyecto más frecuente, tamaño de su organización.
- Percepciones de las potenciales barreras: se colocaron las 13 barreras para que sean evaluadas a través de la escala de Likert donde se evaluó considerando la escala del 1 al 5, donde 5 significó “muy importante” y 1 significó “nada importante”.
- Percepciones de los potenciales beneficios: se colocaron los 11 beneficios para que sean evaluados a través de la escala de Likert donde se evaluó considerando la escala del 1 al 5, donde 5 significó “muy importante” y 1 significó “nada importante”.
- Aspectos finales: se solicitó retroalimentación sobre barreras adicionales que no hayan sido mostradas en la encuesta y sugerencias para mejorar la investigación.

3.4.2 Encuesta masiva

El cuestionario fue completado por 70 profesionales del sector construcción peruano. A través de las preguntas cualitativas del formulario se obtuvo información sobre la ocupación, el rol que desempeña en su organización, rubro en el que labora y el tipo de proyecto en el que labora con mayor frecuencia. A través de las preguntas cuantitativas, se logró identificar años de experiencia profesional, experiencia laboral trabajando en edificaciones y el tamaño de su organización. Además, las preguntas del cuestionario fueron expresadas en sintaxis positiva o neutra para evitar direccionar las respuestas de los encuestados al objetivo del estudio. El formulario se difundió en español a través de correos, el servicio de mensajería de LinkedIn, así como publicaciones en la red profesional LinkedIn. El formulario en cuestión se encuentra en el Anexo B.

3.4.3 Ética de los encuestados

Indicamos a todos los profesionales que sus respuestas serían tratadas con absoluta confidencialidad y serían utilizadas exclusivamente con fines de investigación. No se reveló ninguna información personal identificable en los resultados. La colaboración

de cada encuestado fue esencial para evaluar la percepción de las barreras y beneficios relacionados con la implementación de robots en el sector de la construcción en Perú.

3.5 Diseño muestral

3.5.1 Universo de estudio

Se buscó la participación de profesionales de la construcción en Perú, que incluyó a ingenieros civiles con experiencia no menor a 1 año. La población de estudio que completó el formulario permitió que se clasifiquen las percepciones según fase de proyecto, tipo de proyecto y tamaño de organización.

3.5.2 Marco muestral

La población de estudio en referencia son todos los ingenieros con participación en la industria de construcción. Por ello, se consultó estadísticas del Colegio de Ingenieros del Perú sobre el número de ingenieros registrados en el CIP, lo cual sirvió de referencia para la población estimada. Según la data del CIP a mayo del 2024, existen 89621 ingenieros civiles. Este valor será utilizado como tamaño de la población estimada.

3.5.3 Unidades de marco muestral

La unidad de análisis son todos los ingenieros que cumplan los siguientes requisitos:

- Ingeniero civil
- Profesionales con experiencia mayor a 1 año en el sector construcción.

De esta forma, se espera incluir todas las perspectivas de todos los grupos etarios.

3.5.4 Tamaño de la muestra

Se utilizó la fórmula propuesta por Hogg et al. (2015) para determinar el tamaño de la muestra, la cual se expresa de la siguiente forma:

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q}{e^2 + \frac{Z^2 \times p \times q}{N}}$$

Donde:

N: Tamaño de la muestra

N: Tamaño de la población estimado (89621)

Z: Nivel de confianza (95%;1.96)

p: % asumido de profesionales que utilizan la robótica en sus proyectos (1.5%)

q: % asumido de profesionales que no utilizan la robótica en sus proyectos (98.5%)

e: Margen de error asumido (3%)

Entonces reemplazando los valores numéricos, se obtiene

$$n = 63.02$$

Por lo tanto, se necesitan 64 profesionales como mínimo. Se recolectó en total 70 profesionales que cumplen los requisitos de las unidades de marco muestral (70 ingenieros civiles con experiencia mayor a 1 año).

3.6 Toma de datos

3.6.1 Método de recolección

Para la recolección de respuestas, se utilizó un formulario digital que se compartió vía correo y LinkedIn. Este método permitió una participación ágil y conveniente por parte de los encuestados, quienes pudieron completar el formulario en cualquier momento y desde cualquier ubicación. Se garantizó la confidencialidad de las respuestas. La estructura del formulario abordó de manera clara y organizada las percepciones sobre la implementación de robots en el sector de la construcción en Perú, buscando obtener percepciones detalladas y valiosas de los participantes.

3.6.2 Periodo de recolección

El periodo de recolección de información fue desde el 26 de mayo del 2023 al 05 de noviembre del 2023. Por otro lado, el periodo de revisión fue del 13 de noviembre al 04 de diciembre.

3.7 Datos generales de encuestados

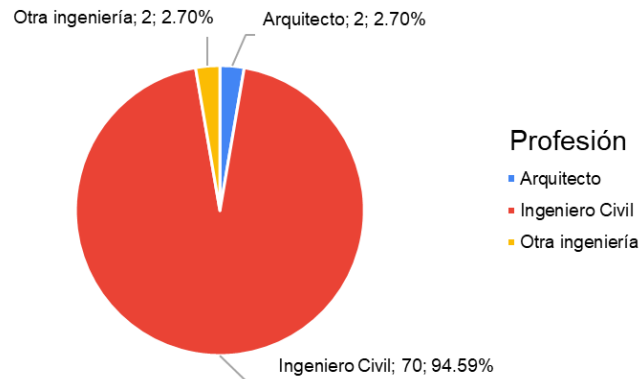
A continuación, se muestran los principales resultados demográficos de la muestra de la investigación. Cabe mencionar que 74 profesionales completaron el formulario virtual, pero solo 70 satisficieron los requisitos de las unidades de marco muestral.

3.7.1 Profesión de los encuestados

Se pudo identificar que el 94.59% de los encuestados satisficieron los requisitos de la unidad muestral (ver Figura 5). No se considerará a los arquitectos ni profesionales

de otra profesión debido a que no cumplen las características de la unidad muestral. Por lo tanto, en adelante todos los resultados serán mostrados a partir de los 70 profesionales en ingeniería civil.

Figura 5. Distribución de profesiones de los encuestados

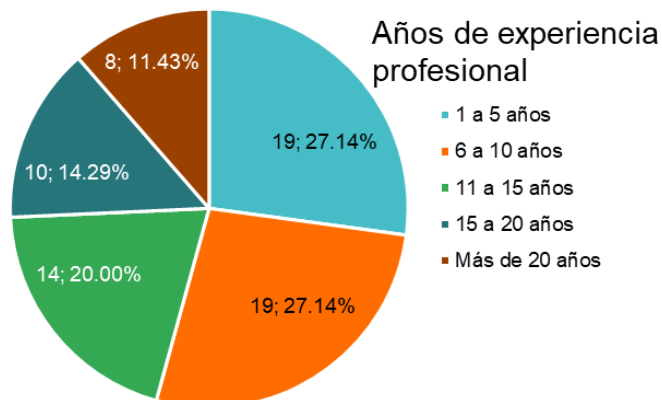


Fuente: Elaboración propia

3.7.2 Años de experiencia de los profesionales encuestados

En la Figura 6, se puede apreciar que el 27.14% de los profesionales cuenta desde 6 a 10 años de experiencia profesional y el 20% del total de encuestados tiene desde 11 a 15 años de experiencia, significando en ambos casos un porcentaje importante del total de profesionales. Cabe mencionar que los profesionales con experiencia menor a 5 años, pero mayor a 1 año también significaron un porcentaje importante de 27.14%. Además, el formulario recibió respuestas de profesionales con más de 15 años de experiencia, representando el 14.29%, y profesionales con más de 20 años de experiencia, representando el 11.43%.

Figura 6. Años de experiencia profesional de los encuestados

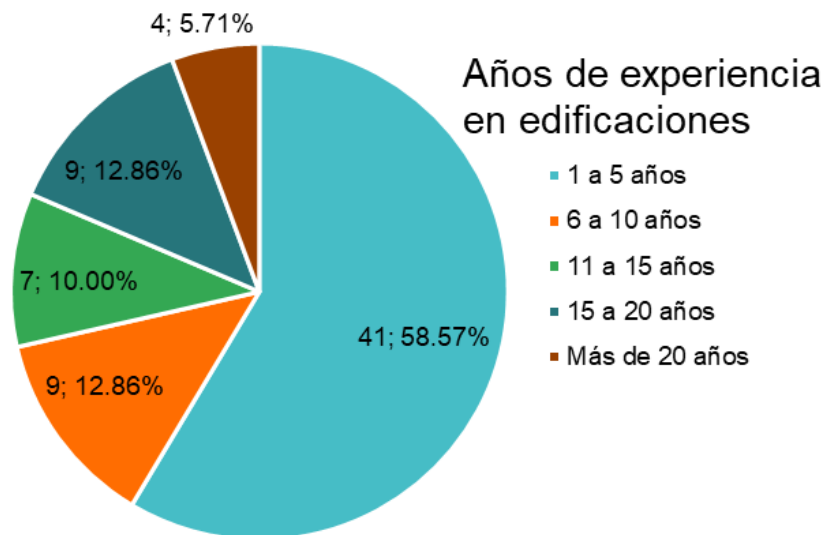


Fuente: Elaboracion propia

3.7.3 Años de experiencia de los profesionales en edificaciones

En la Figura 7 se logra identificar que el 58.57% de los encuestados cuenta con experiencia entre 1 a 5 años en edificaciones, representando más de la mitad de los profesionales. También, se observó que el 12.86% fueron profesionales con experiencia mayor a los 6 años, pero menor a los 10, y que el 10% de los encuestados contaban entre 11 a 15 años de experiencia en edificaciones. Además, se contó con la visión de profesionales con más de 20 años de experiencia en edificaciones quienes brindaron su gran experiencia en pro de la investigación.

Figura 7. Años de experiencia en edificaciones



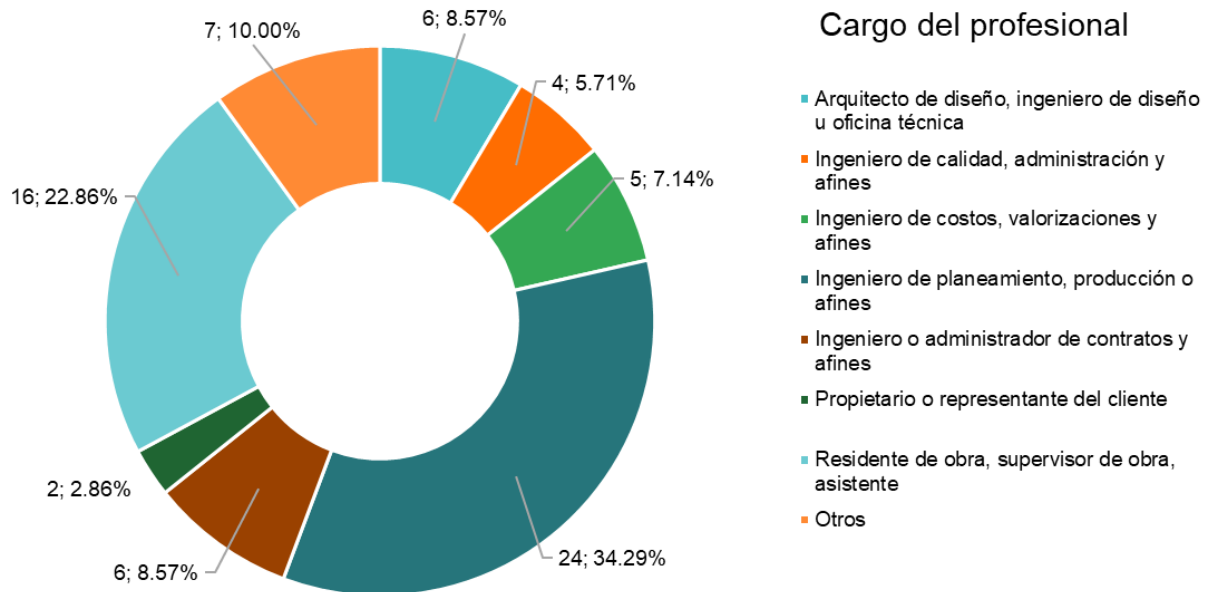
Fuente: Elaboración propia

3.7.4 Rol en la organización de los profesionales encuestados

De acuerdo con el perfil de los encuestados se pudo apreciar que el grupo más representativo fue el de “Ingenieros de planeamiento, producción o afines” con el 34.29% del total de profesionales (ver Figura 8). El segundo grupo más representativo fue el de “Residentes de obra, supervisores de obra y asistentes” con el 22.86% del total de encuestados. El tercer grupo más representativo fue el de “Ingenieros de calidad, administración y afines” con el 10%. De lo mencionado anteriormente, se puede desprender que los 3 grupos mencionados tienen gran capacidad para la toma de decisiones en el proyecto. También, se contó con la participación de “Ingenieros o

administrador de contrato y afines” con el 8.57% y “Arquitectos de diseño, ingeniero de diseño u oficina técnica” también con 8.57%.

Figura 8. Cargo o puesto laboral de los encuestados

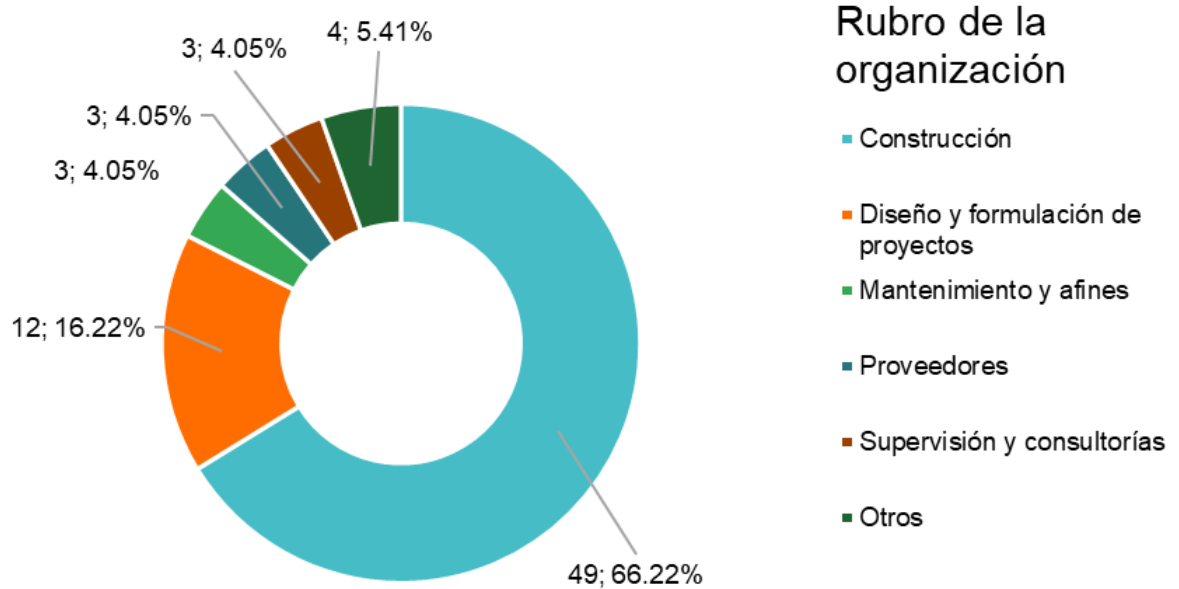


Fuente: Elaboración propia

3.7.5 Rubro al cual pertenece la empresa de los profesionales encuestados

De acuerdo con el perfil de los encuestados (ver Figura 9), se pudo encontrar que el 66.22% de los encuestados pertenecen a la industria de construcción y el 16.22% de encuestados pertenecen a organizaciones de diseño y formulación de proyectos. Ambos grupos son los más representativos de la muestra debido a que los demás rubros cuentan con porcentajes menores al 10%. Por ejemplo, el 4.05% de encuestados pertenece a organizaciones de supervisión, mantenimiento y proveedores.

Figura 9. Rubro de la organización en la cual trabajan los encuestados

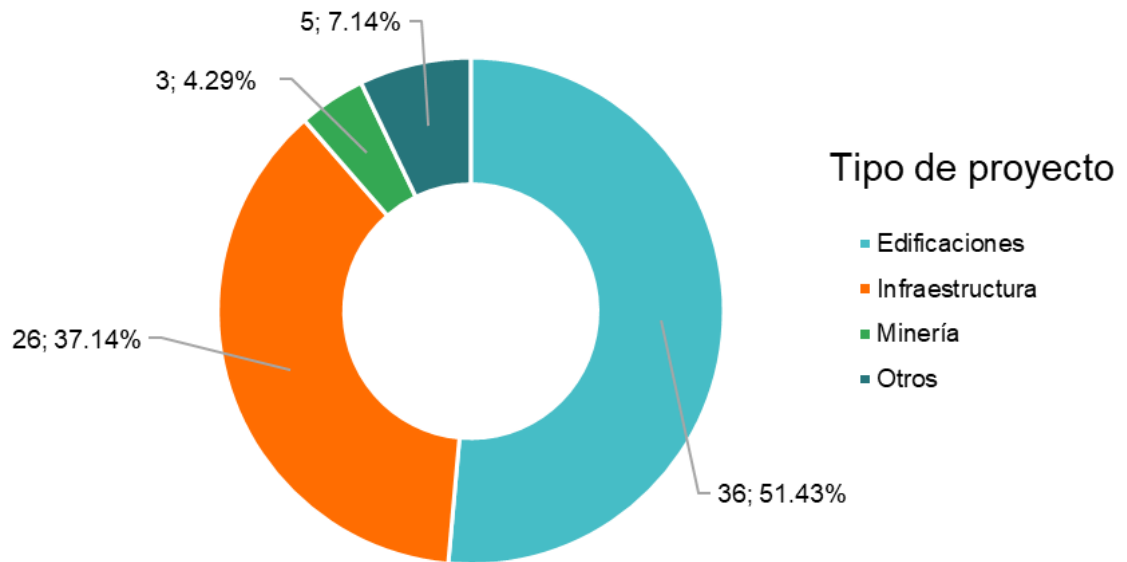


Fuente: Elaboración propia

3.7.6 Tipo de proyectos que participan los profesionales encuestados

De acuerdo con la Figura 10, se pudo observar que el 51.43% de los encuestados participan en proyectos de edificaciones y el 37.14% de los profesionales trabajan en proyectos de infraestructura, representando juntos más de 80% de la muestra de la investigación. De lo mencionado anteriormente, se puede desprender que dichos profesionales tienen mayor interés en conocer sobre las recientes innovaciones en ingeniería civil.

Figura 10. Tipo de proyecto en el que participan los encuestados

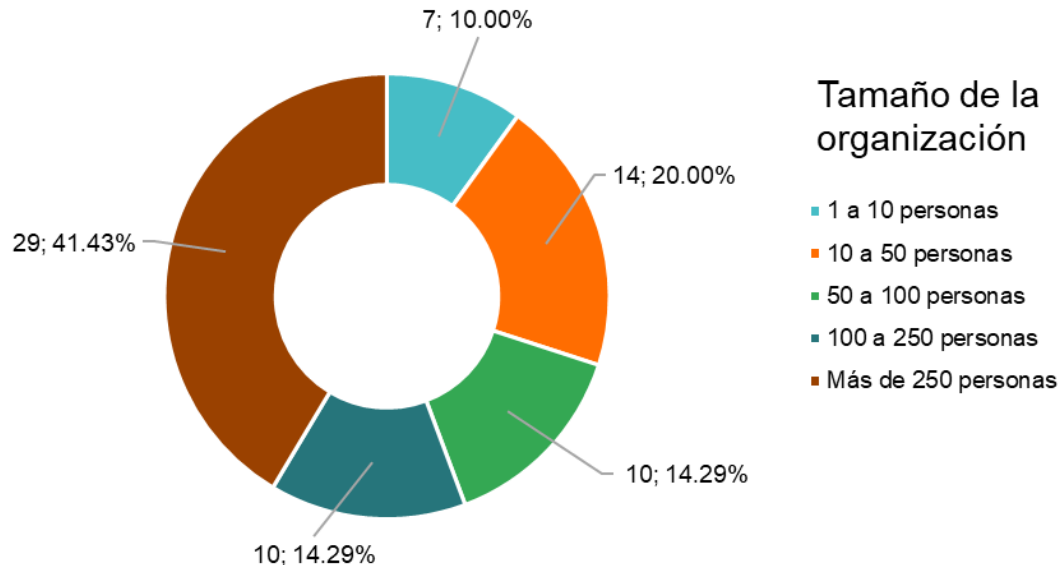


Fuente: Elaboración propia

3.7.7 Tamaño de la organización de los profesionales

De acuerdo con la Figura 11, el 41.43% de ellos pertenecen a organizaciones de más de 250 personas conocidas como grandes empresas. El 20% de los encuestados pertenece a organizaciones con 10 a 50 trabajadores, y el 14.29% de ellos pertenece a organizaciones con 50 a 100 trabajadores conocidas en ambos casos como pequeñas empresas. Además, el 14.29% de los encuestados laboran en organizaciones con más de 100 trabajadores, pero menos de 250, conocidas como medianas empresas. También, hubo profesionales que laboran en microempresas, representando el 10% de los encuestados.

Figura 11. *Tamaño de la organización de los encuestados*



Fuente: Elaboración propia

3.8 Prueba de validez y análisis de datos

El análisis de los datos se realizó con el paquete estadístico para ciencias sociales (SPSS) v24, donde se realizó el análisis de fiabilidad mediante el cálculo del coeficiente de Cronbach (alfa) tanto para la lista de barreras como para la lista de beneficios (Ver Tablas 7 y 8). Según Rodríguez y Reguant (2020), valores de coeficiente de Cronbach mayores a 0.70 representan datos con distribución homogénea, considerándose como confiables y sólidas para la investigación.

Tabla 7. *Alfa de Cronbach de lista de barreras*

N de elementos (Lista de barreras)	Alfa de Cronbach
13	0.839

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. *Alfa de Cronbach de lista de beneficios*

N de elementos (Lista de beneficios)	Alfa de Cronbach
--------------------------------------	------------------

11	0.879
----	-------

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, se confirmó la validez de los datos que serán usados en la presente investigación, debido a que el alfa de Cronbach en ambos casos fue mayor a 0.7.

3.9. Revisión de barreras de la implementación de robots en el sector construcción

A través de la revisión literaria de 41 artículos científicos y posterior validación de la lista de barreras con seis expertos profesionales, se obtuvo una lista de 13 barreras que se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. *Lista de barreras identificadas*

Código	Retos	Referencia
RT-01	Débil cultura de innovación para la implementación de robots en los procesos constructivos.	Delgado et al. (2019), Pradhananga et al. (2021), Bademosi & Issa, (2021)
RT-02	Falta de interés de la dirección de la empresa, debido a una visión a corto plazo de la industria de la construcción.	Yahya et al. (2019), Warszawski y Navon (1998), Jäkel et al. (2022)
RT-03	Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción (daños a la propiedad, salud, vida).	Galin y Mamchenko (2021), Fleming et al. (2019)
RT-04	Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación de robots.	Stewart et al. (2004), Delgado et al. (2019)
RT-05	Poca colaboración y desconfianza en la industria, para la implementación de robots en proyectos de construcción.	Ojha et al. (2022), Bademosi e Issa (2021)
RT-06	Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados del proyecto para la implementación de robots.	Struková y Líška (2012), Delgado et al. (2019), Hu et al. (2020), Pradhananga et al. (2021)
RT-07	Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots en temas de seguridad, privacidad y desempleo por parte de los interesados del proyecto.	Delgado et al. (2019), Galin y Mamchenko (2021), Bou and Nassereddine (2020), Bademosi e Issa (2021)

RT-08	Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el almacenamiento de información generada por los robots.	Fiatech (2004), Bou y Nassereddine (2020), Ojha et al. (2022)
RT-09	Funcionalidades y características limitadas de los robots	Afsari et al. (2021), Kumar et al. (2008)
RT-10	Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos complejos y su instalación en el sitio de construcción podría ser complicada.	Hu et al. (2020), Bademosi e Issa (2021), Mahbub y Humphreys (1999)
RT-11	Deficiente cadena de suministro para la implementación de robots.	Bademosi e Issa, (2021), Ojha et al. (2022), Bou y Nassereddine (2020), Carra et al. (2018)
RT-12	Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción entre humanos y robots.	Fiatech (2004), Bou y Nassereddine (2020), Liang et al. (2021), Pan et al. (2018)
RT-13	Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas de construcción actuales.	Struková y Líška (2012), Bou y Nassereddine (2020), Hu et al. (2020), Mahbub (2015), Yahya et al. (2019)

Fuente: Elaboración propia

3.10 Análisis estadístico de barreras de implementación de robots

Se hizo el cálculo del Relative Importance Index (RII) para determinar cuáles son las barreras con mayor importancia de acuerdo con las respuestas de los encuestados (ver Tabla 10).

Tabla 10. Lista de barreras ordenadas según su RII

Barrera	Código	RII
Débil cultura de innovación para la implementación de robots en los procesos constructivos.	RT-01	81.71%
Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación de robots.	RT-04	79.14%
Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos complejos y su instalación en el sitio de construcción podría ser complicada.	RT-10	79.14%
Falta de interés de la dirección de la empresa, debido a una visión a corto plazo de la industria de la construcción.	RT-02	77.71%

Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados del proyecto para la implementación de robots.	RT-06	77.43%
Deficiente cadena de suministro para la implementación de robots.	RT-11	77.43%
Poca colaboración y desconfianza en la industria para la implementación de robots en proyectos de construcción.	RT-05	76.00%
Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción (daños a la propiedad, salud, vida).	RT-03	75.71%
Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas de construcción actuales.	RT-13	74.57%
Funcionalidades y características limitadas de los robots	RT-09	72.29%
Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción entre humanos y robots.	RT-12	70.57%
Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots en temas de seguridad, privacidad y desempleo por parte de los interesados del proyecto.	RT-07	70.00%
Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el almacenamiento de información generada por los robots.	RT-08	68.86%

Fuente: Elaboración propia

El análisis de RII revela claramente las cinco barreras más críticas para la implementación de robots en la industria de la construcción. La "Débil cultura de innovación" destaca como un obstáculo significativo, indicando la necesidad de un cambio cultural para adoptar nuevas tecnologías. La "Baja inversión y recursos limitados" subraya la importancia de abordar las limitaciones financieras que faciliten la implementación de robots. La complejidad tecnológica, evidenciada por "Requisitos tecnológicos complejos y la instalación complicada", señala la necesidad de soluciones técnicas más accesibles y procesos de implementación simplificados. La "Falta de interés de la dirección" destaca la importancia de involucrar a los líderes en la comprensión a largo plazo de los beneficios de la implementación de robots. Finalmente, la "Ausencia de mano de obra calificada y conocimientos tecnológicos" resalta la necesidad urgente de realizar programas de capacitación y desarrollo de habilidades. Estos resultados sugieren que abordar estas barreras de manera

integral, no solo desde una perspectiva técnica sino también cultural y de liderazgo, será esencial para avanzar en la implementación exitosa de robots en la construcción.

3.11 Clasificación de barreras según análisis factorial exploratorio

Según los valores de alfa de Cronbach calculados con el software SPSS, se puede asegurar que los datos son válidos para el desarrollo de la presente investigación. Entonces, se procedió a realizar el Análisis Factorial Exploratorio que constó de tres etapas principales:

- a) Evaluación de la idoneidad de los datos para su uso en el AFE, para la cual se utilizó la medida de Kaiser - Maier - Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett para comprobar la idoneidad de la muestra y la correlación entre variables (ver Tabla 11). Se aceptaron valores de KMO superiores a 0,5 para realizar el AFE con datos entre 50 y 100. Para rechazar la hipótesis nula de la prueba de Bartlett y demostrar que los datos están altamente correlacionados, se requiere que el determinante de la matriz sea inferior a 0.001 y tenga una significación inferior a 0,05 (Watkins, 2018).

Tabla 11. Valores de KMO y prueba de esfericidad de Barlett para la lista de barreras

Medida Kaiser-Meyer-Olkin		0.737
Prueba de esfericidad de Barlett	Aprox. Chi-cuadrado	302.257
	Sig.	0.000

Fuente: Elaboración propia

- b) Para la extracción de factores o agrupaciones de variables, el Análisis de Componentes Principales (ACP) generó una agrupación común de datos “comunalidad”, a través del cual se aceptó como factores del AFE para mantener la mayor cantidad de información de acuerdo con los objetivos del estudio, así como para reducir los componentes según sea necesario (ver Tabla 12). Se consideraron valores de comunalidad mayores a 0.5 para mantenerlos dentro de la investigación. Todos los elementos de las listas de barreras satisficieron dicha condición.

Tabla 12. Valores de comunalidad de la lista de barreras

Código	Descripción de barrera	Inicial	Extracción
RT-01	Débil cultura de innovación para la implementación de robots en los procesos constructivos.	1.000	0.766
RT-02	Falta de interés de la dirección de la empresa, debido a una visión a corto plazo de la industria de la construcción.	1.000	0.680
RT-03	Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción (daños a la propiedad, salud, vida).	1.000	0.675
RT-04	Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación de robots.	1.000	0.706
RT-05	Poca colaboración y desconfianza en la industria, para la implementación de robots en proyectos de construcción.	1.000	0.644
RT-06	Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados del proyecto para la implementación de robots.	1.000	0.530
RT-07	Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots en temas de seguridad, privacidad y desempleo por parte de los interesados del proyecto.	1.000	0.593
RT-08	Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el almacenamiento de información generada por los robots.	1.000	0.515
RT-09	Funcionalidades y características limitadas de los robots	1.000	0.526
RT-10	Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos complejos y su instalación en el sitio de construcción podría ser complicada.	1.000	0.751
RT-11	Deficiente cadena de suministro para la implementación de robots.	1.000	0.822
RT-12	Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción entre humanos y robots.	1.000	0.610
RT-13	Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas de construcción actuales.	1.000	0.622

Fuente: Elaboración propia

- c) Para la rotación e interpretación de la agrupación de variables, se utilizó la rotación ortogonal Vari-max, que permite una mejor y sencilla interpretación de los datos (ver Tabla 13). Además, permite reducir el número de variables que tienen una

alta carga de peso en los factores, una carga recomendada es de 0.4 (Fabrigar et al., 1999).

Tabla 13. Matriz de componente rotado de la lista de barreras

CÓDIGO	FACTOR			
	1	2	3	4
RT-01			0.849	
RT-02		0.706		
RT-03			0.578	
RT-04		0.824		
RT-05	0.723			
RT-06	0.589			
RT-07	0.689			
RT-08	0.613			
RT-09	0.617			
RT-10	0.597			
RT-11				0.504
RT-12				0.865
RT-13	0.671			

Fuente: Elaboración propia

De esta forma se determinaron 4 factores para la agrupación de barreras debido a que la regla de Kaiser establece que sólo debe tenerse en cuenta en el análisis el número de factores con valores propios superiores a 1,00 (Brown, 2009).

Según la tabla de varianza total de barreras que se muestra a continuación, en el factor 1,2,3 y 4 tienen valores propios de 4.503,1.595,1.240,1.101 respectivamente (ver Tabla 14). De esta forma, los cuatro son mayores al punto de Kaiser de 1.000. Los factores del 5 al 13 están debajo del punto de corte con valores de 0.905 a 0.211, por lo cual solo existen 4 factores para el análisis AFE.

Tabla 14. Varianza total explicada SPSS

Componente	Total	Autovalores iniciales		Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
		% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	4.503	34.642	34.642	4.503	34.642	34.642	3.099	23.842	23.842
2	1.595	12.268	46.910	1.595	12.268	46.910	1.909	14.682	38.524
3	1.240	9.536	56.446	1.240	9.536	56.446	1.883	14.482	53.006
4	1.101	8.467	64.912	1.101	8.467	64.912	1.548	11.907	64.912
5	0.905	6.964	71.877						
6	0.757	5.823	77.700						
7	0.601	4.620	82.320						
8	0.554	4.259	86.579						
9	0.523	4.023	90.602						
10	0.443	3.411	94.012						
11	0.294	2.265	96.277						
12	0.273	2.100	98.377						
13	0.211	1.623	100.000						

Fuente: Extraído del uso del software SPSS.

A continuación, se procedió a la asignación de nombres a las categorías de agrupación: (1) Innovación y marco regulatorio desafiante, (2) Limitaciones financieras y obstáculos estratégicos, (3) Desafíos culturales y tecnológicos y (4) Entorno operativo (ver Tabla 15). Estas categorías agrupan a las barreras y serán utilizadas como pilares para el desarrollo de la hoja de ruta para implementación de robots en empresas del sector construcción.

Tabla 15. Agrupación de barreras según AFE

Tipo	Código anterior	Código nuevo	Barrera
Innovación y marco regulatorio desafiante	RT-01	IN-01	Débil cultura de innovación para la implementación de robots en los procesos constructivos.
	RT-03	IN-02	Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción (daños a la propiedad, salud, vida).
Limitaciones financieras y obstáculos estratégicos	RT-04	FI-01	Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación de robots.
	RT-02	FI-02	Falta de interés de la dirección de la empresa, debido a una visión a corto plazo de la industria de la construcción.

Desafíos culturales y tecnológicos	RT-05	CT-01	Poca colaboración y desconfianza en la industria, para la implementación de robots en proyectos de construcción.
	RT-06	CT-02	Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados del proyecto para la implementación de robots.
	RT-07	CT-03	Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots en temas de seguridad, privacidad y desempleo por parte de los interesados del proyecto.
	RT-08	CT-04	Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el almacenamiento de información generada por los robots.
	RT-09	CT-05	Funcionalidades y características limitadas de los robots
	RT-10	CT-06	Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos complejos y su instalación en el sitio de construcción podría ser complicada.
	RT-13	CT-07	Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas de construcción actuales.
Entorno operativo	RT-11	EO-01	Deficiente cadena de suministro para la implementación de robots.
	RT-12	EO-02	Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción entre humanos y robots.

Fuente: Elaboración propia

3.11.1 Innovación y marco regulatorio desafiante

Esta categoría aborda dos barreras importantes como la falta de una cultura sólida de innovación dentro de las organizaciones, la cual limita la disposición para adoptar robots en los procesos constructivos. Además, la ausencia de legislación específica genera incertidumbre en áreas críticas como daños a la propiedad, salud y seguridad. Estos desafíos requieren enfoques estratégicos y marcos regulatorios que impulsen la integración exitosa de la robótica en la industria de la construcción peruana.

3.11.2 Limitaciones financieras y obstáculos estratégicos

Esta categoría incluye la falta de interés por parte de la dirección, impulsada por una visión a corto plazo de la industria, lo cual en ocasiones determina la decisión de adoptar o no herramientas tecnológicas en las empresas. Además, la baja inversión y recursos limitados de las mismas para la implementación de robots representan un

desafío financiero clave. Para superar estas limitaciones, se requieren estrategias que fomenten una perspectiva a largo plazo y soluciones financieras innovadoras.

3.11.3 Desafíos culturales y tecnológicos

Esta categoría destaca una serie de barreras fundamentales en la implementación de la robótica en la construcción en Perú. Estos incluyen la falta de colaboración y desconfianza en la industria para adoptar robots en proyectos de construcción. Además, la ausencia de mano de obra calificada y la limitada comprensión tecnológica de los interesados representan barreras cruciales. La percepción de miedo y desconfianza hacia los robots, así como la necesidad de seguridad en el manejo de información generada por ellos, también constituyen desafíos clave. Las limitaciones en las funcionalidades y características de los robots, así como su posible incompatibilidad y complejidad de adaptación con las prácticas de construcción actuales, completan este conjunto de barreras culturales y tecnológicos que deben superarse para una integración exitosa de la robótica en la construcción peruana.

3.11.4 Entorno operativo

Esta categoría se centra en las barreras vinculadas a las condiciones operativas para la implementación de robots en la construcción en Perú. Una cadena de suministro deficiente para la implementación de robots representa un desafío principal, afectando la disponibilidad y accesibilidad de los componentes necesarios. Además, la falta de organismos y normas que regulen la interacción entre humanos y robots en el entorno de construcción constituye un obstáculo importante. Estas limitaciones en el entorno operativo plantean desafíos logísticos y regulatorios que deben abordarse para asegurar una implementación exitosa.

Habiendo terminado de agrupar las barreras a través del AFE, resulta necesario analizar el efecto de las etapas de proyectos, tipos de proyectos y tamaño de la empresa que desea implementar esta tecnología. Por ello, a continuación, se realizarán dichos análisis para comprender las diferencias entre sí.

3.12 Barreras de implementación por etapas de proyectos

Para comprender mejor el impacto de las barreras de implementación en las etapas de proyectos, se analizaron detalladamente las fases de construcción y diseño. Este análisis sectorizado permitió abordar específicamente las barreras en cada etapa del ciclo de vida del proyecto, mejorando la identificación y planteamiento de estrategias para superar las barreras (ver Tabla 16).

Tabla 16. Lista ordenada de barreras por etapas de proyectos en función al RII

Código	Barrera	Construcción	Diseño	Otros
IN-01	Débil cultura de innovación para la implementación de robots en los procesos constructivos.	80.87%	88.89%	80.00%
CT-06	Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos complejos y su instalación en el sitio de construcción podría ser complicada.	80.87%	82.22%	72.00%
FI-02	Falta de interés de la dirección de la empresa, debido a una visión a corto plazo de la industria de la construcción.	77.83%	75.56%	78.67%
FI-01	Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación de robots.	76.96%	84.44%	82.67%
CT-02	Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados del proyecto para la implementación de robots.	76.52%	91.11%	72.00%
CT-01	Poca colaboración y desconfianza en la industria, para la implementación de robots en proyectos de construcción.	76.52%	77.78%	73.33%
CT-07	Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas de construcción actuales.	76.52%	75.56%	68.00%
EO-01	Deficiente cadena de suministro para la implementación de robots.	75.22%	84.44%	80.00%
IN-02	Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción (daños a la propiedad, salud, vida).	74.35%	86.67%	73.33%
EO-02	Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción entre humanos y robots.	72.17%	73.33%	64.00%
CT-03	Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots en temas de seguridad, privacidad y desempleo por parte de los interesados del proyecto.	71.74%	71.11%	64.00%

CT-05	Funcionalidades y características limitadas de los robots	70.00%	77.78%	76.00%
CT-04	Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el almacenamiento de información generada por los robots.	68.26%	68.89%	70.67%

Fuente: Elaboración propia

En la etapa de diseño, la barrera de "débil cultura de innovación para la implementación de robots en los procesos constructivos" tiene un impacto directo debido a que limita la exploración y aplicación de soluciones innovadoras en la fase conceptual del proyecto. Por otro lado, en la etapa de construcción, la barrera "Requisitos tecnológicos complejos e instalación complicada" representa un obstáculo importante a considerar porque dificulta el uso de robots en el sitio, generando complejidades logísticas y operativas que pueden afectar la eficiencia y el cumplimiento de plazos. Además, la barrera "Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados" es la barrera más importante en la etapa de diseño porque limita la capacidad del equipo para concebir soluciones que permitan la integración de robots, al carecer de un conocimiento sólido sobre las capacidades y potencialidades de esta tecnología.

Además, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, la cual es una prueba basada en rangos para las variables no paramétricas, es decir, para comparar más de dos muestras independientes. En este caso se realizó la prueba para los grupos más grandes entre construcción y diseño, la hipótesis inicial fue que las barreras para la implementación de robótica procedían de la misma muestra (ver Tabla 17). Si el valor de p obtenido durante la prueba de Kruskal-Wallis es significativo ($p \leq 0.05$), las pruebas no paramétricas de comparación múltiple indican que se rechaza la hipótesis inicial; en caso contrario, se asume que las variables tienen procedencias similares (IBM, 2021). Cabe mencionar que "gl" es el grado de libertad con el cual se hace la combinatoria y "p" es el valor de significancia para que este análisis tenga un error del 5%. En este caso, gl es 1 porque se hizo la combinatorio para dos grupos (diseño y construcción).

Tabla 17. Prueba de Kruskal-Wallis para proyectos en etapa de diseño y construcción

Barrera	gl	p	Decisión
IN-01	1	0.377	Retener la hipótesis nula
FI-02	1	0.693	Retener la hipótesis nula
IN-02	1	0.131	Retener la hipótesis nula
FI-01	1	0.323	Retener la hipótesis nula
CT-01	1	0.537	Retener la hipótesis nula
CT-02	1	0.063	Retener la hipótesis nula
CT-03	1	0.944	Retener la hipótesis nula
CT-04	1	0.822	Retener la hipótesis nula
CT-05	1	0.23	Retener la hipótesis nula
CT-06	1	0.674	Retener la hipótesis nula
EO-01	1	0.228	Retener la hipótesis nula
EO02	1	0.723	Retener la hipótesis nula
CT-07	1	0.811	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados, se puede afirmar que tanto la fase de diseño como construcción proceden de la misma muestra, es decir, comparten la misma percepción por parte de los encuestados.

3.13 Barreras de implementación por tipos de proyectos

Para comprender mejor el impacto de las barreras de implementación en los tipos de proyectos, se analizaron detalladamente los proyectos tipo edificaciones y tipo infraestructura. Este análisis sectorizado permitió abordar específicamente las barreras en cada tipo proyecto para comprender de mejor forma qué barreras afectan en mayor medida según el tipo de proyecto, lo cual servirá para plantear estrategias según las percepciones de cada tipo (ver Tabla 18).

Tabla 18. Lista ordenada de barreras por tipo de proyectos en función al RII

Código	Barrera	Edificaciones	Infraestructura	Otros
IN-01	Débil cultura de innovación para la implementación de robots en los procesos constructivos.	80.56%	83.08%	82.50%
FI-02	Falta de interés de la dirección de la empresa, debido a una visión a corto plazo de la industria de la construcción.	78.89%	75.38%	80.00%
CT-02	Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados del proyecto para la implementación de robots.	78.89%	76.92%	72.50%
CT-06	Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos complejos y su instalación en el sitio de construcción podría ser complicada.	78.89%	81.54%	72.50%
FI-01	Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación de robots.	78.33%	77.69%	87.50%
CT-01	Poca colaboración y desconfianza en la industria, para la implementación de robots en proyectos de construcción.	76.11%	78.46%	67.50%
EO-01	Deficiente cadena de suministro para la implementación de robots.	76.11%	80.77%	72.50%
IN-02	Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción (daños a la propiedad, salud, vida).	75.00%	79.23%	67.50%
CT-07	Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas de construcción actuales.	73.89%	76.15%	72.50%
CT-03	Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots en temas de seguridad, privacidad y desempleo por parte de los interesados del proyecto.	70.00%	69.23%	72.50%
CT-05	Funcionalidades y características limitadas de los robots	70.00%	76.92%	67.50%
EO-02	Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción entre humanos y robots.	70.00%	73.08%	65.00%
CT-04	Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el almacenamiento de información generada por los robots.	68.33%	69.23%	70.00%

Fuente: Elaboración propia

En los proyectos de edificaciones, la barrera de "débil cultura de innovación para la implementación de robots en los procesos constructivos" destaca como la más significativa. Esta situación se atribuye a la naturaleza de los proyectos de edificación, los cuales suelen operar en entornos más conservadores y regulados, donde la resistencia a la implementación de nuevas tecnologías se intensifica debido a la prevalencia de métodos establecidos y la necesidad de garantizar la calidad en la construcción de estructuras.

En los proyectos tipo infraestructura, la percepción es similar debido a que estos proyectos también tienen criterios de seguridad en obra y calidad exigentes, lo que dificulta la incorporación de tecnologías robóticas disruptivas. Otra barrera que representa un reto importante a enfrentar son los "requisitos tecnológicos complejos y su instalación en sitios de construcción", la cual aparece como la segunda barrera más importante en proyectos tipo infraestructura debido a que los robots requieren adaptarse a entornos más complejos y condiciones variables en comparación con proyectos de edificaciones.

Además, se hicieron las pruebas de Kruskal Wallis para los grupos más grandes entre proyectos tipo edificaciones e infraestructura (ver Tabla 19). La hipótesis inicial fue que las barreras para la implementación de robótica procedían de la misma muestra. Según los resultados, el valor de significancia fue mayor a 0.05 en todas las barreras, por lo cual se puede afirmar que tanto los proyectos tipo edificaciones e infraestructura proceden de la misma muestra, es decir, comparten la misma percepción por parte de los encuestados.

Tabla 19. Prueba de Kruskal-Wallis para proyectos de tipo edificaciones e infraestructura

Barrera	gl	p	Decisión
IN-01	1	0.547	Retener la hipótesis nula
FI-02	1	0.449	Retener la hipótesis nula
IN-02	1	0.315	Retener la hipótesis nula
FI-01	1	0.864	Retener la hipótesis nula
CT-01	1	0.478	Retener la hipótesis nula
CT-02	1	0.828	Retener la hipótesis nula

CT-03	1	0.832	Retener la hipótesis nula
CT-04	1	0.953	Retener la hipótesis nula
CT-05	1	0.205	Retener la hipótesis nula
CT-06	1	0.609	Retener la hipótesis nula
EO-01	1	0.567	Retener la hipótesis nula
EO02	1	0.599	Retener la hipótesis nula
CT-07	1	0.806	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

3.14 Barreras de implementación por tamaño de empresa

Comprender el impacto de las barreras de implementación según el tamaño de la empresa es esencial para desarrollar estrategias efectivas. Por ello, se realizó un análisis detallado, abordando específicamente las barreras según el tamaño de la empresa. Este enfoque diferenciado según el tamaño de la empresa permite una identificación más precisa de los desafíos que enfrentan las empresas de diferentes magnitudes, facilitando así la formulación de estrategias específicas y adaptadas a sus necesidades únicas. Se hizo la comparación entre microempresas, pequeñas, medianas y grandes empresas (ver Tabla 20).

Tabla 20. *Lista ordenada de barreras por tamaño de empresa en función al RII*

Código	Barrera	Micro empresa	Pequeña empresa	Mediana empresa	Gran empresa
CT-06	Falta de interés de la dirección de la empresa, debido a una visión a corto plazo de la industria de la construcción.	80.00%	80.00%	74.00%	76.55%
FI-01	Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación de robots.	80.00%	80.00%	78.00%	78.62%
IN-02	Funcionalidades y características limitadas de los robots	80.00%	69.17%	70.00%	73.79%
CT-03	Deficiente cadena de suministro para la implementación de robots.	80.00%	77.50%	80.00%	75.86%
CT-04	Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas de construcción actuales.	80.00%	73.33%	80.00%	72.41%

EO-02	Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos complejos y su instalación en el sitio de construcción podría ser complicada.	74.29%	75.83%	86.00%	80.69%
IN-01	Débil cultura de innovación para la implementación de robots en los procesos constructivos.	71.43%	85.83%	84.00%	80.00%
CT-02	Poca colaboración y desconfianza en la industria, para la implementación de robots en proyectos de construcción.	71.43%	80.83%	74.00%	73.79%
FI-02	Falta de legislación en uso de robots en construcción.	68.57%	77.50%	76.00%	75.86%
CT-01	Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados del proyecto para la implementación de robots.	68.57%	76.67%	76.00%	80.69%
CT-07	Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots en temas de seguridad, privacidad y desempleo por parte de los interesados.	68.57%	70.83%	70.00%	69.66%
EO-01	Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el almacenamiento de información generada por los robots.	62.86%	70.00%	70.00%	68.97%
CT-05	Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción entre humanos y robots.	60.00%	68.33%	78.00%	72.41%

Fuente: Elaboración propia

En las microempresas, la "baja inversión y recursos limitados de la empresa" aparece como la barrera más importante, lo cual podría deberse a que estas empresas, al ser de menor escala, suelen enfrentar restricciones financieras significativas que dificultan la realización de inversiones sustanciales.

En las pequeñas empresas, "la falta de interés de la dirección de la empresa debido a una visión a corto plazo" aparece como la barrera más importante, lo cual podría deberse a que estas empresas, al tener una visión más enfocada en resultados a corto plazo, pueden mostrar resistencia a realizar inversiones a largo plazo como la implementación de robots.

En las empresas medianas, "los requisitos tecnológicos complejos e instalación en sitios de construcción" aparecen como la barrera más importante, lo cual podría deberse a que estas empresas, al operar en proyectos de mayor envergadura, pueden encontrar desafíos adicionales al implementar tecnologías complejas en entornos de construcción.

En las empresas grandes, la barrera más importante es la "ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados" lo cual podría deberse, a pesar de su tamaño, a la falta de experiencia interna que podría limitar la capacidad de adoptar tecnologías avanzadas como los robots de construcción.

Debido a que se identificaron diferencias sustanciales en las percepciones según el tamaño de la empresa, se decidió realizar el análisis de Kruskal Wallis para comparar los siguientes grupos: Microempresas vs Pequeñas empresas, Pequeñas vs Medianas empresas, Medianas vs Grandes empresas, MYPEs vs Medianas empresas y MYPEs vs Grandes empresas.

3.14.1 Microempresas vs Pequeñas empresas

Las microempresas tienen una estructura y alcance reducido, con recursos y empleados limitados. Por otro lado, las pequeñas empresas, aunque también son de tamaño reducido, pueden tener una presencia más amplia y más recursos para operar. Estas diferencias en tamaño y recursos influyen en cómo enfrentan barreras, así como en la implementación de tecnologías como los robots. Por ello, se hizo el análisis de Kruskal Wallis para identificar las variaciones en las percepciones de los encuestados de cada grupo (ver Tabla 21).

Tabla 21. Prueba de Kruskal-Wallis para Microempresas y Pequeñas empresas

Barrera	gl	p	Decisión
IN-01	1	0.109	Retener la hipótesis nula
FI-02	1	0.880	Retener la hipótesis nula
IN-02	1	0.258	Retener la hipótesis nula
FI-01	1	0.980	Retener la hipótesis nula
CT-01	1	0.275	Retener la hipótesis nula
CT-02	1	0.299	Retener la hipótesis nula
CT-03	1	0.807	Retener la hipótesis nula

CT-04	1	0.331	Retener la hipótesis nula
CT-05	1	0.250	Retener la hipótesis nula
CT-06	1	0.804	Retener la hipótesis nula
EO-01	1	0.562	Retener la hipótesis nula
EO02	1	0.402	Retener la hipótesis nula
CT-07	1	0.510	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados, el valor de significancia fue mayor a 0.05 en todas las barreras, por lo cual se puede afirmar que tanto las microempresas como las pequeñas empresas proceden de la misma muestra, es decir, comparten la misma percepción por parte de los encuestados.

3.14.2 Pequeñas vs Medianas empresas

Las pequeñas empresas, aunque limitadas en tamaño y recursos en comparación con las medianas, suelen tener una presencia más arraigada en el mercado local. Por otro lado, las medianas empresas poseen una estructura más amplia y recursos adicionales, permitiéndoles abordar proyectos de mayor envergadura y alcance. Estas diferencias en tamaño y alcance influyen en cómo enfrentan las barreras. Por ello, se hizo el análisis de Kruskal Wallis para identificar las variaciones en las percepciones de los encuestados de cada grupo (ver Tabla 22).

Tabla 22. Prueba de Kruskal-Wallis para Pequeñas y Medianas empresas

Barrera	gl	p	Decisión
RT-01	1	0.867	Retener la hipótesis nula
RT-02	1	0.551	Retener la hipótesis nula
RT-03	1	0.968	Retener la hipótesis nula
RT-04	1	0.984	Retener la hipótesis nula
RT-05	1	0.889	Retener la hipótesis nula
RT-06	1	0.827	Retener la hipótesis nula
RT-07	1	0.922	Retener la hipótesis nula
RT-08	1	0.752	Retener la hipótesis nula

RT-09	1	0.845	Retener la hipótesis nula
RT-10	1	0.142	Retener la hipótesis nula
RT-11	1	0.724	Retener la hipótesis nula
RT-12	1	0.225	Retener la hipótesis nula
RT-13	1	0.357	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados, el valor de significancia fue mayor a 0.05 en todas las barreras, por lo cual se puede afirmar que se acepta la hipótesis nula, es decir, que ambos tipos de empresa proceden de la misma muestra, comparten la misma percepción por parte de los encuestados.

3.14.3 Medianas vs Grandes empresas

Las medianas empresas, al tener una estructura más robusta que las pequeñas, pueden superar barreras financieras con más facilidad. En cambio, las grandes empresas, con recursos abundantes, enfrentan desafíos específicos relacionados con la gestión de su escala y la coordinación de tecnologías a gran envergadura. Estas diferencias de tamaño influyen en cómo abordan la implementación de robots en la construcción. Por ello, fue necesario realizar el análisis de Kruskal Wallis para identificar las variaciones en las percepciones de los encuestados de cada grupo (ver Tabla 23).

Tabla 23. Prueba de Kruskal-Wallis para Medianas y Grandes empresas

Barrera	gl	p	Decisión
RT-01	1	0.347	Retener la hipótesis nula
RT-02	1	0.865	Retener la hipótesis nula
RT-03	1	0.867	Retener la hipótesis nula
RT-04	1	1.000	Retener la hipótesis nula
RT-05	1	0.556	Retener la hipótesis nula
RT-06	1	0.694	Retener la hipótesis nula
RT-07	1	0.921	Retener la hipótesis nula
RT-08	1	0.816	Retener la hipótesis nula
RT-09	1	0.677	Retener la hipótesis nula
RT-10	1	0.426	Retener la hipótesis nula
RT-11	1	0.838	Retener la hipótesis nula
RT-12	1	0.538	Retener la hipótesis nula
RT-13	1	0.349	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados, el valor de significancia fue mayor a 0.05 en todas las barreras, por lo cual se puede afirmar que tanto las medianas como las grandes empresas proceden de la misma muestra, es decir, comparten la misma percepción por parte de los encuestados.

3.14.4 MYPEs vs Medianas empresas

Según el análisis anterior, las micro y pequeñas empresas tenían el mismo comportamiento en la percepción de los encuestados. Por lo cual, se decidió agrupar a ambos tipos de empresas en la categoría MYPES (Micro y pequeñas empresas) para compararlas con las medianas empresas. Las MYPES se caracterizan por su estructura más compacta, con un número limitado de empleados, ingresos y activos. Por otro lado, las medianas empresas tienen una envergadura mayor en términos de

personal y recursos financieros. Esta disparidad puede influir en la forma en que ambas enfrentan las barreras en la implementación de robots.

Según los resultados del análisis de Kruskal Wallis (ver Tabla 24), el valor de significancia fue mayor a 0.05 en todas las barreras, por lo cual se puede afirmar que tanto las MYPE como las medianas empresas proceden de la misma muestra, es decir, comparten la misma percepción por parte de los encuestados.

Tabla 24. Prueba de Kruskal-Wallis para MYPEs y Medianas empresas

Barrera	gl	p	Decisión
RT-01	1	0.568	Retener la hipótesis nula
RT-02	1	0.554	Retener la hipótesis nula
RT-03	1	0.788	Retener la hipótesis nula
RT-04	1	0.962	Retener la hipótesis nula
RT-05	1	0.962	Retener la hipótesis nula
RT-06	1	0.646	Retener la hipótesis nula
RT-07	1	0.900	Retener la hipótesis nula
RT-08	1	0.609	Retener la hipótesis nula
RT-09	1	0.912	Retener la hipótesis nula
RT-10	1	0.101	Retener la hipótesis nula
RT-11	1	0.834	Retener la hipótesis nula
RT-12	1	0.158	Retener la hipótesis nula
RT-13	1	0.431	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

3.14.5 MYPEs vs Grandes empresas

En comparación con las grandes empresas, las MYPEs suelen ser más pequeñas, con limitaciones en el número de empleados y recursos financieros, mientras que las grandes empresas poseen una envergadura considerablemente superior en términos de personal y capital. Esta diferencia puede influir en la manera en que ambas enfrentan las barreras, ya que las MYPEs cuentan con recursos más limitados en comparación con las grandes empresas, por lo cual fue necesario realizar la Prueba de Kruskal-Wallis, donde se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 25.

Tabla 25. Prueba de Kruskal-Wallis para MYPEs y Grandes empresas

Barrera	gl	p	Decisión
RT-01	1	0.577	Retener la hipótesis nula
RT-02	1	0.499	Retener la hipótesis nula
RT-03	1	0.908	Retener la hipótesis nula
RT-04	1	0.944	Retener la hipótesis nula
RT-05	1	0.287	Retener la hipótesis nula
RT-06	1	0.216	Retener la hipótesis nula
RT-07	1	0.933	Retener la hipótesis nula
RT-08	1	0.665	Retener la hipótesis nula
RT-09	1	0.624	Retener la hipótesis nula
RT-10	1	0.267	Retener la hipótesis nula
RT-11	1	0.981	Retener la hipótesis nula
RT-12	1	0.277	Retener la hipótesis nula
RT-13	1	0.626	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados, el valor de significancia fue mayor a 0.05 en todas las barreras, por lo cual se puede afirmar que aceptamos la hipótesis nula, es decir que ambos tipos empresa (MYPEs y grandes empresas) proceden de la misma muestra, es decir comparten la misma percepción por parte de los encuestados.

Capítulo IV: Análisis de beneficios de la implementación de robots en Lima

4.1. Revisión de beneficios de la implementación de robots en el sector construcción
A través de la revisión literaria de 41 artículos científicos y posterior validación de la lista de beneficios con seis expertos profesionales, se obtuvo una lista de 11 beneficios que se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. *Lista de beneficios identificados*

Código	Beneficios	Referencia
BN-01	Mayor ventaja competitiva de las organizaciones debido al uso de tecnología.	Aghimien et al. (2022)
BN-02	Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots.	Boya et al. (2022), John et al. (2022)
BN-03	Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos.	Bou and Nassereddine (2020), Boya et al. (2022)
BN-04	Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.	Delgado et al. (2019), John et al. (2022), Boya et al., (2022)
BN-05	Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas.	Juicio de expertos
BN-06	Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de tareas peligrosas.	Boya et al., (2022), Bou and Nassereddine (2020), Delgado et al. (2019), Aghimien et al. (2022)
BN-07	Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada.	Pan and Pan (2019)
BN-08	Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información.	Bou and Nassereddine (2020)
BN-09	Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas.	Afsari et al. (2021), Bou and Nassereddine (2020)
BN-10	Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción	Boya et al. (2022), Bou and Nassereddine (2020), Liang et al. (2021), Pan and Pan (2019)
BN-11	Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).	Bou and Nassereddine (2020)

Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis estadístico de beneficios de implementación de robots

Se hizo el cálculo del Relative Importance Index (RII) para determinar cuáles son los beneficios con mayor importancia de acuerdo con las respuestas de los encuestados (ver Tabla 27).

Tabla 27. Lista de beneficios ordenados según su RII

Beneficio	Código	RII
Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada.	BN-07	86.00%
Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).	BN-11	85.43%
Mayor ventaja competitiva de las organizaciones debido al uso de tecnología.	BN-01	84.57%
Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción	BN-10	84.57%
Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos.	BN-03	84.29%
Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de tareas peligrosas.	BN-06	82.29%
Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas.	BN-05	81.71%
Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.	BN-04	81.43%
Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información.	BN-08	80.57%
Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots.	BN-02	78.29%
Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas.	BN-09	78.29%

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los beneficios a través del RII destaca claramente los posibles impactos positivos más valiosos de la implementación de robots en la construcción. La "Ayuda a la mejora continua y la producción industrializada" subraya la capacidad de los robots para impulsar la eficiencia y la calidad en los procesos. La "Interoperabilidad entre robots y tecnologías digitales" destaca la importancia de la integración tecnológica para optimizar los métodos constructivos. La "Ventaja competitiva" resalta el potencial de los robots para posicionar a las organizaciones a la vanguardia mediante el uso estratégico de la tecnología. La "Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos" señala los impactos positivos en la calidad y la productividad general. La "Reducción de los costos de mano de obra y retrabajos" subraya los beneficios económicos asociados con la automatización. Estos resultados sugieren que, además de los beneficios evidentes en términos de eficiencia y calidad, la implementación de robots tiene el potencial de mejorar la competitividad de las empresas del sector construcción.

4.3. Clasificación de beneficios según AFE

Según los valores de alfa de Cronbach calculados con el software SPSS, se puede asegurar que los datos son válidos para el desarrollo de la presente investigación. Entonces, se procedió a realizar el Análisis Factorial Exploratorio que constó de tres etapas principales:

- a) Evaluación de la idoneidad de los datos para su uso en el AFE, para la cual se utilizó la medida de Kaiser - Maier - Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett para comprobar la idoneidad de la muestra y la correlación entre variables (ver Tabla 28). Se aceptaron valores de KMO superiores a 0,5 para realizar el AFE con datos entre 50 y 100. Para rechazar la hipótesis nula de la prueba de Bartlett y demostrar que los datos están altamente correlacionados, se requiere que el determinante de la matriz sea inferior a 0.001 y tenga una significación inferior a 0,05 (Watkins, 2018).

Tabla 28. Valores de KMO y prueba de esfericidad de Barlett para la lista de beneficios

Medida Kaiser-Meyer-Olkin		0.832
Prueba de esfericidad de Barlett	Aprox. Chi-cuadrado	396.334
	Sig.	0.000

Fuente: Elaboración propia

- b) Para la extracción de factores o agrupaciones de variables, el Análisis de Componentes Principales (ACP) generó una agrupación común de datos “comunalidad”, a través del cual se aceptó como factores del AFE para mantener la mayor cantidad de información de acuerdo con los objetivos del estudio, así como para reducir los componentes según sea necesario (ver Tabla 29). Se consideraron valores de comunalidad mayores a 0.5 para mantenerlos dentro de la investigación. Todos los elementos de las listas de barreras y beneficios satisficieron dicha condición.

Tabla 29. Valores de comunalidad de la lista de beneficios

Código	Beneficios	Inicial	Extracción
BN-01	Mayor ventaja competitiva de las organizaciones debido al uso de tecnología.	1.000	0.797
BN-02	Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots.	1.000	0.707
BN-03	Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos.	1.000	0.830
BN-04	Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.	1.000	0.831
BN-05	Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas.	1.000	0.884
BN-06	Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de tareas peligrosas.	1.000	0.872
BN-07	Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada.	1.000	0.736
BN-08	Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información.	1.000	0.729

BN-09	Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas.	1.000	0.764
BN-10	Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción	1.000	0.786
BN-11	Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).	1.000	0.772

Fuente: Elaboración propia

c) Para la rotación e interpretación de la agrupación de variables, se utilizó la rotación ortogonal Vari-max, que permite una mejor y sencilla interpretación de los datos (ver Tabla 30). Además, permite reducir el número de variables que tienen una alta carga de peso en los factores, una carga recomendada es de 0.4 (Fabrigar et al., 1999).

Tabla 30. Matriz de componente rotado de la lista de beneficios

CÓDIGO	FACTOR			
	1	2	3	4
BN-01				0.879
BN-02				0.742
BN-03		0.83		
BN-04		0.849		
BN-05			0.9	
BN-06			0.825	
BN-07	0.786			
BN-08	0.739			
BN-09	0.783			
BN-10	0.867			
BN-11	0.845			

Fuente: Elaboración propia

La regla de Kaiser establece que solo debe tenerse en cuenta en el análisis el número de factores con valores propios superiores a 1,00 (Brown,2009). Por ello, según los cálculos de SPSS el número de factores para agrupar a las barreras es 4 al igual que en la agrupación de beneficios.

Según la tabla de varianza total de beneficios que se muestra a continuación, en el factor 1,2,3 y 4 tienen valores propios de 5.197,1.298, 1.150 y 1.063 respectivamente (ver Tabla 31). De esta forma, los cuatro son mayores al punto de Kaiser de 1.000. Los factores del 5 al 13 están debajo del punto de corte con valores de 0.516 a 0.181.

Tabla 31. *Varianza total explicada SPSS*

Componente	Total	Autovalores iniciales		Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
		% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	5.197	47.245	47.245	5.197	47.245	47.245	3.648	33.162	33.162
2	1.298	11.796	59.041	1.298	11.796	59.041	1.739	15.811	48.973
3	1.150	10.453	69.494	1.150	10.453	69.494	1.689	15.352	64.325
4	1.063	9.668	79.162	1.063	9.668	79.162	1.632	14.837	79.162
5	0.516	4.688	83.850						
6	0.441	4.007	87.857						
7	0.397	3.611	91.468						
8	0.282	2.562	94.031						
9	0.245	2.229	96.260						
10	0.231	2.099	98.359						
11	0.181	1.641	100.000						

Fuente: Extraído de SPSS.

De acuerdo con el análisis factorial exploratorio para la lista de beneficios, se identificaron 4 categorías de beneficios, las cuales son las siguientes: (1) Ventaja Competitiva y Satisfacción de Interesados, (2) Optimización Económica en Procesos Constructivos, (3) Mejora en Seguridad Laboral y Salud Ocupacional y (4) Eficiencia y mejora de procesos en la construcción (ver Tabla 32). Estas categorías agrupan a

los beneficios y serán utilizados como pilares para el desarrollo de la hoja de ruta para implementación de robots en empresas del sector construcción.

Tabla 32. Agrupación de beneficios según AFE

Tipo	Código anterior	Código nuevo	Beneficio
Ventaja Competitiva y Satisfacción de Interesados	BN-01	VC-01	Mayor ventaja competitiva de las organizaciones debido al uso de tecnología.
	BN-02	VC-02	Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots.
Optimización económica en procesos constructivos	BN-03	OE-01	Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos.
	BN-04	OE-02	Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.
Mejora en seguridad laboral y salud ocupacional	BN-05	SL-01	Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas.
	BN-06	SL-02	Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de tareas peligrosas.
Eficiencia y mejora de procesos en la construcción	BN-07	PC-01	Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada.
	BN-08	PC-02	Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información.
	BN-09	PC-03	Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas.
	BN-10	PC-04	Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción
	BN-11	PC-05	Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).

Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Ventaja competitiva y satisfacción de interesados

Esta categoría destaca que la implementación de robots no solo proporciona una ventaja competitiva significativa a las empresas, sino que también conlleva mejoras sustanciales en los procesos, lo que se traduce en una mayor satisfacción de los interesados en los proyectos. Esta combinación de beneficios ubica a las

organizaciones en una posición más sólida en el mercado y, al mismo tiempo, mejora la experiencia y la percepción de los diversos interesados en los proyectos de construcción.

4.3.2 Optimización económica en procesos constructivos

Esta categoría destaca los impactos positivos que la implementación de robots puede tener en términos de eficiencia y economía. La reducción de costos de mano de obra y retrabajos, junto con la disminución de los gastos generales gracias a un aumento en la productividad, representan beneficios económicos clave. Estas optimizaciones económicas no solo mejoran la rentabilidad de los proyectos de construcción, sino que también contribuyen a la sostenibilidad financiera de las empresas, posicionándolas favorablemente en un entorno económico competitivo.

4.3.3 Mejora en seguridad laboral y salud ocupacional

Esta categoría resalta los impactos positivos en términos de bienestar y seguridad para los trabajadores. La reducción de lesiones y la liberación de los trabajadores de tareas peligrosas son aspectos clave que contribuyen a un entorno laboral más seguro. Además, la disminución de costos en seguridad y salud ocupacional, derivada de la reducción de la exposición de los trabajadores a actividades peligrosas, no solo beneficia la salud y el bienestar de los empleados, sino que también mejora la situación financiera de la empresa al reducir los gastos asociados a estos riesgos laborales.

4.3.4 Eficiencia y Mejora de Procesos en la Construcción

Esta categoría destaca los beneficios asociados a la optimización de las operaciones en la industria de la construcción. Al facilitar la mejora continua y la automatización de la producción, se logra una eficiencia significativa en los procesos constructivos. La interacción entre los robots y las tecnologías digitales, como la interoperabilidad, contribuye a unos procesos más ágiles y eficientes. Además, se observa una mejora en la calidad de producción, el uso eficiente de recursos y un incremento en el rendimiento de los equipos de construcción. La agilización en la detección de problemas, la mayor conectividad e integración de información permiten un mejor

control del entorno de trabajo. En resumen, estos beneficios significan la simplificación de procesos y la eliminación de tareas no productivas.

Habiendo terminado de agrupar los beneficios a través del AFE resulta necesario analizar el efecto de las etapas de proyectos, tipos de proyectos y tamaño de la empresa que desea implementar esta tecnología. Por ello, a continuación, se realizarán dichos análisis para comprender las diferencias entre sí.

4.4 Beneficios de implementación por etapas de proyectos

El análisis comparativo de beneficios por etapas de proyectos, específicamente en las fases de construcción y diseño, es esencial para comprender cómo la implementación de la robótica puede impactar diferentes aspectos a lo largo del ciclo de vida de un proyecto (ver Tabla 33).

En la etapa de diseño, por ejemplo, los beneficios pueden estar relacionados con la planificación eficiente y la optimización de procesos, mientras que, en la etapa de construcción, la mejora de la productividad y la seguridad laboral pueden ser aspectos clave. Este enfoque permite una evaluación más precisa de los beneficios en contextos específicos, facilitando la identificación de áreas de mejora y estrategias adaptadas a cada etapa del proyecto.

Tabla 33. Lista ordenada de beneficios por etapas de proyectos en función al RII

Código	Beneficio	Construcción	Diseño	Otros
PC-05	Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).	86.09%	80.00%	85.33%
PC-01	Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada.	84.78%	68.89%	86.67%
PC-04	Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción	84.78%	71.11%	86.67%
VC-01	Mayor ventaja competitiva de las organizaciones debido al uso de tecnología.	84.35%	88.89%	82.67%

SL-01	Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas.	83.91%	84.44%	80.00%
SL-02	Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de tareas peligrosas.	83.91%	73.33%	85.33%
OE-01	Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos.	82.61%	80.00%	88.00%
OE-02	Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.	80.00%	86.67%	84.00%
PC-02	Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información.	79.13%	91.11%	86.67%
VC-02	Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots.	78.26%	88.89%	77.33%
PC-03	Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas.	78.26%	77.78%	82.67%

Fuente: Elaboración propia

Durante la etapa de construcción, el beneficio más importante fue "Procesos constructivos más eficientes", esto se debe a que la implementación de robots facilita la ejecución de tareas repetitivas y complejas, agilizando el tiempo de construcción y reduciendo posibles demoras.

Durante la etapa de diseño, el beneficio más importante fue "Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas" porque el uso de robots y tecnologías digitales permite una monitorización constante del progreso del proyecto, identificando problemas de manera rápida y eficiente, lo que contribuye a la toma de decisiones informada.

Otro beneficio importante para destacar fue "Ayuda a la mejora continua, producción industrializada y automatizada", lo cual se puede deber a que la implementación de robots permite optimizar la producción y automatizar procesos, fomentando la eficiencia y la calidad en la construcción.

Se hicieron las pruebas de Kruskal Wallis para los grupos más grandes entre construcción y diseño (ver Tabla 34), la hipótesis inicial fue que los beneficios de la implementación de robótica procedían de la misma muestra.

Tabla 34. Prueba de Kruskal-Wallis para proyectos en etapa de diseño y construcción

Beneficio	gl	p	Decisión
VC-01	1	0.363	Retener la hipótesis nula
VC-02	1	0.838	Retener la hipótesis nula
OE-01	1	0.558	Retener la hipótesis nula
OE-02	1	0.493	Retener la hipótesis nula
SL-01	1	0.369	Retener la hipótesis nula
SL-02	1	0.29	Retener la hipótesis nula
PC-01	1	0.389	Retener la hipótesis nula
PC-02	1	0.99	Retener la hipótesis nula
PC-03	1	0.513	Retener la hipótesis nula
PC-04	1	0.375	Retener la hipótesis nula
PC-05	1	0.555	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados, el valor de significancia fue mayor a 0.05 en todas las barreras, por lo que se puede afirmar que tanto los beneficios de la fase de diseño como construcción proceden de la misma muestra, es decir, comparten la misma percepción por parte de los encuestados.

4.5 Beneficios de implementación por tipos de proyectos

El análisis comparativo de la percepción de los beneficios entre proyectos tipo edificaciones y proyectos de infraestructura es esencial para plantear estrategias adecuadas. Cada tipo de proyecto tiene características específicas que afectan cómo se experimentan los beneficios de la robótica. Comprender estas diferencias permite diseñar enfoques más precisos y personalizados. Por ello, se realizó una comparativa entre ambos tipos de proyectos (ver Tabla 35).

Tabla 35. Lista ordenada de beneficios por tipo de proyectos en función al RII

Código	Beneficios	Edificaciones	Infraestructura	Otros
VC-01	Mayor ventaja competitiva de las organizaciones debido al uso de tecnología.	87.22%	83.85 %	75.00%
OE-01	Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos.	84.44%	83.85 %	85.00%
PC-05	Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).	84.44%	85.38 %	90.00%
SL-01	Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas.	83.89%	80.77 %	75.00%
PC-01	Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada.	83.89%	87.69 %	90.00%
PC-04	Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción	82.22%	85.38 %	92.50%
OE-02	Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.	81.67%	81.54 %	80.00%
SL-02	Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de tareas peligrosas.	81.67%	80.77 %	90.00%
VC-02	Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots.	79.44%	78.46 %	72.50%
PC-02	Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información.	77.22%	83.85 %	85.00%
PC-03	Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas.	73.33%	82.31 %	87.50%

Fuente: Elaboración propia

En los proyectos tipo edificaciones, el beneficio más importante, "mayor ventaja competitiva de las organizaciones debido al uso de tecnología", destaca porque estos proyectos suelen operar en mercados altamente competitivos, donde la implementación de tecnologías innovadoras brinda una ventaja estratégica.

En proyectos de infraestructura, el beneficio principal fue "ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada", la cual destacó debido a que este tipo

de proyectos, con sus complejas operaciones, se benefician enormemente de la automatización para aumentar la eficiencia y la calidad.

Otro beneficio importante en la categoría OTROS fue la "mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de equipos de producción", el cual aborda aspectos integrales que contribuyen significativamente a la eficacia general del proyecto, impactando positivamente en diversos aspectos.

Se hicieron las pruebas de Kruskal Wallis para los grupos más grandes entre proyectos de edificaciones e infraestructura (ver Tabla 36). La hipótesis inicial fue que las barreras para la implementación de robótica procedían de la misma muestra.

Tabla 36. Prueba de Kruskal-Wallis para proyectos de tipo edificaciones e infraestructura

Beneficio	gl	p	Decisión
VC-01	1	0.341	Retener la hipótesis nula
VC-02	1	0.868	Retener la hipótesis nula
OE-01	1	0.975	Retener la hipótesis nula
OE-02	1	0.75	Retener la hipótesis nula
SL-01	1	0.385	Retener la hipótesis nula
SL-02	1	0.927	Retener la hipótesis nula
PC-01	1	0.441	Retener la hipótesis nula
PC-02	1	0.104	Retener la hipótesis nula
PC-03	1	0.115	Retener la hipótesis nula
PC-04	1	0.543	Retener la hipótesis nula
PC-05	1	0.852	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados, el valor de significancia fue mayor a 0.05 en todos los beneficios, por lo cual se puede afirmar que tanto los proyectos tipo edificaciones e infraestructura proceden de la misma muestra, es decir, comparten la misma percepción por parte de los encuestados.

4.6 Beneficios de implementación por tamaño de empresa

El análisis comparativo de beneficios por tamaño de empresa es fundamental para entender cómo la robótica impacta distintas escalas organizativas. Este enfoque permite identificar patrones y desafíos específicos en micro, pequeñas, medianas y grandes empresas (ver Tabla 37), guiando estrategias personalizadas. La adaptación a las características y recursos particulares de cada tamaño de empresa optimiza la implementación de robots, maximizando así los beneficios.

Tabla 37. Lista ordenada de beneficios por tamaño de empresa en función al RII

Código	Beneficios	Micro empresa	Pequeña empresa	Mediana empresa	Gran empresa
OE-01	Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos.	91.43%	85.83%	78.00%	83.45%
VC-01	Mayor ventaja competitiva de las organizaciones debido al uso de tecnología.	88.57%	84.17%	82.00%	84.83%
VC-02	Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots.	85.71%	78.33%	78.00%	76.55%
OE-02	Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.	82.86%	84.17%	80.00%	79.31%
PC-01	Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada.	80.00%	86.67%	94.00%	84.14%
PC-05	Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).	80.00%	88.33%	86.00%	84.14%
PC-04	Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción	77.14%	89.17%	88.00%	81.38%
SL-01	Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas.	74.29%	77.50%	90.00%	84.14%
PC-03	Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas.	74.29%	80.00%	78.00%	77.93%
PC-02	Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información.	71.43%	85.00%	84.00%	77.93%

Reducción de lesiones y liberación de				
SL-02 los trabajadores de la ejecución de	68.57%	83.33%	84.00%	84.14%
tareas peligrosas.				

Fuente: Elaboración propia

En las microempresas, el beneficio más importante fue "reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos", lo cual se debió a la necesidad de las microempresas en optimizar recursos limitados y minimizar los gastos operativos. En pequeñas empresas, el beneficio destacado fue "Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción", lo cual se atribuyó a que usualmente las pequeñas empresas están enfocadas en la búsqueda de eficiencia y competitividad en proyectos de menor escala. En empresas medianas, el beneficio principal fue "Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas", lo cual responde a la preocupación de las empresas medianas por la salud laboral y los costos asociados, lo cual se refleja en su imagen corporativa. En empresas grandes, el beneficio más relevante, "Mayor ventaja competitiva de las organizaciones debido al uso de tecnología", reflejó la necesidad de innovación y liderazgo tecnológico en proyectos de mayor envergadura.

Debido a que se identificaron diferencias sustanciales en las percepciones de los beneficios según el tamaño de la empresa, se decidió realizar el análisis de Kruskal Wallis para comparar los siguientes grupos: Microempresas vs Pequeñas empresas, Pequeñas vs Medianas empresas y Medianas vs Grandes empresas.

4.6.1 Microempresa VS Pequeña empresa

Comparar beneficios entre micro y pequeñas empresas con Kruskal Wallis ofrece perspectivas cruciales. Este análisis permite ajustar estrategias, reconociendo las distintas prioridades en la implementación de la robótica según el tamaño de empresa. Por ello, se realizó la comparativa entre ambos (ver Tabla 38) y se encontró que casi todos los beneficios presentaron un valor de significancia mayor a 0.05, es decir, que la percepción de los encuestados es la misma en microempresas y pequeñas empresas. Sin embargo, el beneficio BN-10 llamado "Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción" presentó un valor de significancia de 0.05, por lo cual procede de una

muestra diferente, es decir la percepción por parte de los encuestados para este beneficio es diferente en microempresas y pequeñas empresas.

Tabla 38. Prueba de Kruskal-Wallis para Microempresas y Pequeñas empresas

Beneficio	gl	p	Decisión
VC-01	1	0.539	Retener la hipótesis nula
VC-02	1	0.366	Retener la hipótesis nula
OE-01	1	0.36	Retener la hipótesis nula
OE-02	1	0.78	Retener la hipótesis nula
SL-01	1	0.805	Retener la hipótesis nula
SL-02	1	0.104	Retener la hipótesis nula
PC-01	1	0.305	Retener la hipótesis nula
PC-02	1	0.098	Retener la hipótesis nula
PC-03	1	0.531	Retener la hipótesis nula
PC-04	1	0.05	Rechazar la hipótesis nula
PC-05	1	0.18	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

La diferencia en la percepción del beneficio BN-10 entre micro y pequeñas empresas podría atribuirse a las diferencias en recursos y capacidades. Es probable que las microempresas, con limitaciones más pronunciadas, vean este beneficio como una oportunidad significativa para mejorar la calidad y eficiencia. En contraste, las pequeñas empresas, al contar con recursos relativamente mayores, podrían tener expectativas distintas y evaluar este beneficio en función de criterios más específicos o exigentes. Estas diferencias en contextos y perspectivas podrían explicar la diferencia en las percepciones.

4.6.2 Pequeña vs Mediana empresa

La comparativa entre pequeñas y medianas empresas es crucial dada sus características diferentes. Las pequeñas, con recursos limitados, buscan eficiencia y reducción de costos, mientras que las medianas, más establecidas, pueden enfocarse en mejoras en seguridad y calidad, aprovechando su capacidad financiera y

estructural (ver Tabla 39). Por ello, se realizó el análisis de Kruskal Wallis para identificar diferencias en las percepciones de los encuestados sobre estos beneficios.

Tabla 39. Prueba de Kruskal-Wallis para Pequeñas y Medianas empresas

Beneficio	gl	p	Decisión
VC-01	1	0.657	Retener la hipótesis nula
VC-02	1	0.825	Retener la hipótesis nula
OE-01	1	0.362	Retener la hipótesis nula
OE-02	1	0.747	Retener la hipótesis nula
SL-01	1	0.084	Retener la hipótesis nula
SL-02	1	0.514	Retener la hipótesis nula
PC-01	1	0.156	Retener la hipótesis nula
PC-02	1	1	Retener la hipótesis nula
PC-03	1	0.549	Retener la hipótesis nula
PC-04	1	0.582	Retener la hipótesis nula
PC-05	1	0.696	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados, el valor de significancia de todos los beneficios fue mayor a 0.05, por lo cual se puede afirmar que tanto las pequeñas y medianas empresas proceden de la misma muestra, es decir, comparten la misma percepción por parte de los encuestados.

4.6.3 Mediana vs Gran empresa

Las medianas empresas se benefician en mayor medida de las mejoras en seguridad y reducción de costos. Por otro lado, las grandes empresas, con mayor capacidad financiera, pueden priorizar la ventaja competitiva y eficiencia. Identificar las diferencias en las percepciones de ambos grupos permitirá plantear estrategias adecuadas. Por lo cual se realizó un análisis de Kruskal Wallis (ver Tabla 40), donde se observó que todos los valores de significancia fueron mayores a 0.05, por lo cual se puede afirmar que los encuestados tienen la misma percepción de los beneficios para medianas y grandes empresas.

Tabla 40. *Prueba de Kruskal-Wallis para Medianas y Grandes empresas*

Barrera	gl	p	Decisión
BN-01	1	0.568	Retener la hipótesis nula
BN-02	1	0.879	Retener la hipótesis nula
BN-03	1	0.481	Retener la hipótesis nula
BN-04	1	0.945	Retener la hipótesis nula
BN-05	1	0.291	Retener la hipótesis nula
BN-06	1	0.764	Retener la hipótesis nula
BN-07	1	0.128	Retener la hipótesis nula
BN-08	1	0.55	Retener la hipótesis nula
BN-09	1	0.893	Retener la hipótesis nula
BN-10	1	0.361	Retener la hipótesis nula
BN-11	1	0.986	Retener la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

Capítulo V: Propuesta de hoja de ruta para la implementación de robots

5.1 Entidades involucradas en la implementación de robots

La implementación de robots en el sector de la construcción requiere la colaboración de tres entidades clave: la empresa, la academia y el gobierno. Cada una desempeña un papel fundamental en el éxito de la implementación, desde la financiación y la innovación hasta la regulación y la formación especializada.

- **Empresa:** Motor de la implementación de robots. Encargado de la implementación y aplicación práctica de robots para mejorar la eficiencia, la seguridad y la productividad en sus proyectos.
- **Academia:** Fuente de conocimientos, investigación y formación de profesionales en robótica aplicada a la construcción. Encargado de la creación de programas académicos para profesionales del sector.
- **Gobierno:** Papel crucial al establecer el marco normativo y las políticas que facilitan la implementación de robots en la construcción. Debe promover un entorno regulador que incentive la innovación y la implementación de tecnologías robóticas.

5.2 Consideraciones para el uso de la hoja de ruta de implementación de robots

5.2.1 Enfoque de la hoja de ruta

La propuesta de hoja de ruta se centra en las medianas y grandes empresas del sector de la construcción, reconociendo su capacidad para liderar la implementación de robots. Además, esta hoja de ruta es aplicable para empresas que fomentan una cultura de innovación dentro de sus colaboradores, promoviendo la exploración y la experimentación con soluciones tecnológicas. Asimismo, las empresas que deseen utilizar esta propuesta de hoja de ruta deben contar con políticas efectivas de medición y control de sus procesos constructivos que les permita identificar puntos de mejora que puedan ser abordados a través del uso de tecnología. La hoja de ruta propone que se asimile la implementación de esta tecnología como un proyecto de implementación, el cual deberá estar estrechamente alineado con la estrategia organizacional de la empresa respectiva. Esto asegura que la implementación de robots sea coherente con los objetivos de la empresa, maximizando así su impacto y

contribución al éxito general del negocio. Finalmente, la empresa que desee emplear esta hoja de ruta para implementar un robot requiere contar con un sistema de gestión de innovación que brinde soporte al proyecto de implementación.

5.2.2 Esencia de la hoja de ruta

La esencia de la hoja de ruta se fundamenta en varios valores fundamentales para asegurar el éxito de la implementación de robots (ver Figura 12). La colaboración, tanto interna como externa, es clave para facilitar el intercambio de conocimientos y recursos, así como para abordar desafíos de manera más efectiva. Esta hoja de ruta promueve la mejora continua, fomentando un ambiente donde la innovación y la optimización sean valores centrales. Asimismo, la reflexión y el análisis constante son fundamentales para evaluar el progreso y ajustar la estrategia según sea necesario. Además, la hoja de ruta adopta una visión a largo plazo, reconociendo que la implementación de robots requiere una inversión inicial significativa y que los beneficios asociados se materializan gradualmente a lo largo del tiempo, lo que demanda un compromiso sostenido por parte de la empresa. Finalmente, esta hoja de ruta enfatiza la importancia de la transparencia durante todo el proyecto de implementación de robot, promoviendo la comunicación tanto interna como externa.

Figura 12. Valores de la hoja de ruta



Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Medición de la hoja de ruta

Para asegurar el éxito del proyecto de implementación, es crucial establecer métricas que permitan medir de manera precisa los resultados alcanzados. Esto implica definir los factores clave de éxito del proyecto de implementación de robots, los cuales deben estar alineados estrechamente con los objetivos estratégicos de la empresa. De esta manera, se garantiza una evaluación exhaustiva de los avances y se facilita la toma de decisiones informadas para ajustar y optimizar los procesos asociados a la implementación del robot.

5.2.4 Adaptación de la hoja de ruta

La adaptación de la hoja de ruta se personalizará según las necesidades y características específicas de cada empresa. Esto implica considerar sus procesos internos, su sistema de gestión de innovación y sus objetivos organizacionales. La alineación del proyecto de implementación con el sistema de gestión de innovación de la empresa es fundamental para garantizar una integración efectiva de la hoja de ruta en sus prácticas y estructuras existentes. El sistema de gestión de innovación debe acompañar la implementación de robots identificando oportunidades y evaluando su viabilidad técnica y estratégica. Asimismo, el sistema de gestión de innovación debe facilitar la evaluación de resultados y la adaptación continua del proyecto. En resumen, el sistema de gestión de innovación debe proporcionar el marco necesario para gestionar efectivamente la innovación dentro de la organización.

5.2.5 Estructura de la hoja de ruta: “4PIF”

La hoja de ruta está estructurada en 4 principios, 4 impulsores y 4 fases (4P + 4I + 4F = 4PIF), en adelante llamada “4PIF”, los cuales se señalan a continuación:

- Principios: Permitirán abordar las barreras de implementación brindando lineamientos sobre el comportamiento de los miembros del equipo e interesados.

- **Impulsores:** Maximizarán los impactos positivos de los beneficios asociados a la implementación de robots y serán utilizados para definir las métricas de éxito del proyecto de implementación.
- **Fases:** Organizarán las actividades del proyecto de implementación, asegurando la realización efectiva de las tareas necesarias para alcanzar los objetivos planteados y garantizar la coherencia con los principios e impulsores.

5.3 Hoja de ruta para la implementación de robots

5.3.1 Principios

Permitirán abordar las barreras de implementación brindando lineamientos sobre el comportamiento de los miembros del equipo e interesados. Los principios fueron basados en las categorías de barreras identificados de acuerdo con el Análisis Factorial Exploratorio (ver Tabla 41 y Figura 13).

Tabla 41. Principios de la hoja de ruta

Categoría de barrera	Principio planteado
Innovación y marco regulatorio desafiante	Fomentar una cultura innovadora y marco regulatorio proactivo
Limitaciones financieras y obstáculos estratégicos	Adoptar una visión estratégica a largo plazo
Desafíos culturales y tecnológicos	Promover la adaptabilidad y colaboración
Entorno operativo	Optimizar las condiciones de operación

Fuente: Elaboración propia

a) Fomentar una cultura innovadora y marco regulatorio proactivo

Este principio promueve la creación de una cultura organizacional que valore y fomente la innovación en los procesos constructivos. Además, impulsa la colaboración con las autoridades y organismos reguladores para establecer un marco normativo que facilite la implementación segura y efectiva de la robótica en la industria de la construcción.

b) Adoptar una visión estratégica a largo plazo

Este principio impulsa una perspectiva a largo plazo en la toma de decisiones, fomentando una visión estratégica que trascienda las limitaciones financieras y los obstáculos a corto plazo. Además, promueve la implementación de soluciones financieras innovadoras para garantizar el éxito a largo plazo de la implementación de robots en la industria de la construcción.

c) Promover la adaptabilidad y colaboración

Este principio busca fomentar un entorno de trabajo flexible, confiable y colaborativo que facilite la implementación de nuevas tecnologías promoviendo la capacitación entre los miembros del equipo e interesados y la integración de conocimientos para superar las barreras culturales y tecnológicas. Asimismo, este principio promueve la búsqueda constante de soluciones tecnológicas innovadoras y la adaptabilidad de las empresas y profesionales del sector de la construcción a este nuevo entorno tecnológico.

d) Optimizar las condiciones de operación

Este principio busca mejorar las condiciones operativas para la implementación de robots en el sitio de construcción. Fomenta la optimización de la cadena de suministro para garantizar la disponibilidad y accesibilidad de los componentes necesarios para la operación del robot. Además, promueve la creación de normativas que regulen la interacción entre humanos y robots en el sitio de construcción.

Figura 13. Principios de la hoja de ruta



Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Impulsores

Maximizarán los impactos positivos de los beneficios asociados a la implementación de robots y serán utilizados para definir las métricas de éxito del proyecto de implementación. Los impulsores fueron basados en las categorías de beneficios identificados de acuerdo con el Análisis Factorial Exploratorio (ver Tabla 42 y Figura 14).

Tabla 42. *Impulsores de la hoja de ruta*

Categoría de beneficio	Impulsor planteado
Ventaja competitiva y satisfacción de interesados	Incremento de competitividad y satisfacción del cliente
Optimización económica en procesos constructivos	Optimización de costos y productividad de procesos constructivos
Mejora en seguridad laboral y salud ocupacional	Entorno laboral saludable y seguro
Eficiencia y mejora de procesos en la construcción	Interacción tecnológica en procesos constructivos

Fuente: Elaboración propia

a) Incremento de competitividad y satisfacción del cliente

Este impulsor busca asegurar que las mejoras en los procesos constructivos impulsadas por el uso de robots se traduzcan en una posición más sólida en el mercado y en el incremento de la satisfacción de los interesados. Algunas métricas asociadas a este impulsor son: índice de participación en el mercado, índice de satisfacción del cliente y aumento del índice de productividad de procesos constructivos.

b) Optimización de costos y productividad de procesos constructivos

Este impulsor busca garantizar una reducción significativa de desperdicios en los costos de mano de obra y retrabajos, así como la disminución de los gastos generales mediante un aumento en la productividad. Esto contribuirá a la mejora de la rentabilidad de los proyectos de construcción y al fortalecimiento de la

sostenibilidad financiera de las empresas. Algunas métricas asociadas a este impulsor son: variación de los índices de productividad, incremento de rentabilidad de proyecto de construcción y disminución del tiempo dedicado a retrabajos.

c) Entorno laboral saludable y seguro

Este impulsor busca reducir las lesiones laborales y liberar a los trabajadores de tareas peligrosas, contribuyendo así a crear un entorno laboral más seguro y saludable. Además, busca disminuir los costos asociados a la seguridad y salud ocupacional, mejorando tanto el bienestar de los empleados como la situación financiera de la empresa. Algunas métricas asociadas a este impulsor son: índices de lesiones laborales, variación del número de incidentes de seguridad y el índice de bienestar laboral.

d) Interacción tecnológica en procesos constructivos

Este impulsor busca mejorar la eficiencia de los procesos constructivos mediante la interacción entre robots y tecnologías digitales, lo que conlleva una mayor agilidad, eficiencia y calidad en la producción. Además, busca incrementar el rendimiento de los equipos de construcción y promover un mejor control del entorno de trabajo a través de la detección ágil de problemas y la integración de información. Algunas métricas asociadas a este impulsor son: porcentaje de reducción en el tiempo de ejecución de tareas, variación de la eficiencia de uso de recursos y nivel de integración de tecnologías digitales en procesos constructivos.

Figura 14. *Impulsores de la hoja de ruta*

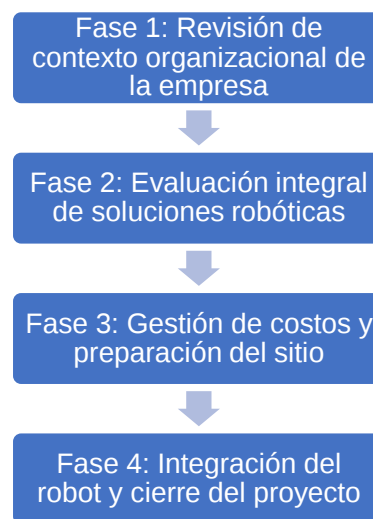


Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Fases

Como se mencionó en la sección de “Enfoque de la hoja de ruta”, la hoja de ruta propone que asimilemos la implementación del robot como un proyecto que estará compuesto por cuatro fases, las cuales organizarán las actividades del proyecto de implementación, asegurando la realización efectiva de las tareas necesarias para alcanzar los objetivos planteados y garantizar la coherencia con los principios e impulsores. Se han definido 11 procesos en total, los cuales son necesarios para orientar la implementación del robot y están distribuidos en las 4 fases (ver Figura 15). Cada proceso presenta una breve descripción, así como sus entradas, herramientas y salidas.

Figura 15. Fases de la hoja de ruta



Fuente: Elaboración propia

5.3.4 Fase 1: Revisión de contexto organizacional de la empresa

Esta fase busca comprender a detalle el entorno operativo y estratégico de la empresa en relación con la implementación de tecnología robótica. Durante esta fase, se llevan a cabo tres procesos clave (ver Tabla 43). En primer lugar, se examina el estado actual de la empresa, incluyendo su misión, visión, estructura organizativa y cultura. Luego, se evalúa el estado de los proyectos en curso, analizando lecciones aprendidas, el nivel de integración de tecnología y posibles oportunidades de estandarización de procesos. Por último, se investigan las influencias tanto internas como externas que podrían impactar en los proyectos, tales como proveedores, logística, adquisiciones y comunicaciones. Estos procesos proporcionan una visión holística de la empresa y su contexto, permitiendo una toma de decisiones informada y estratégica para la implementación exitosa de robots en sus procesos de construcción.

Tabla 43. *Procesos de la Fase 1 de la hoja de ruta*

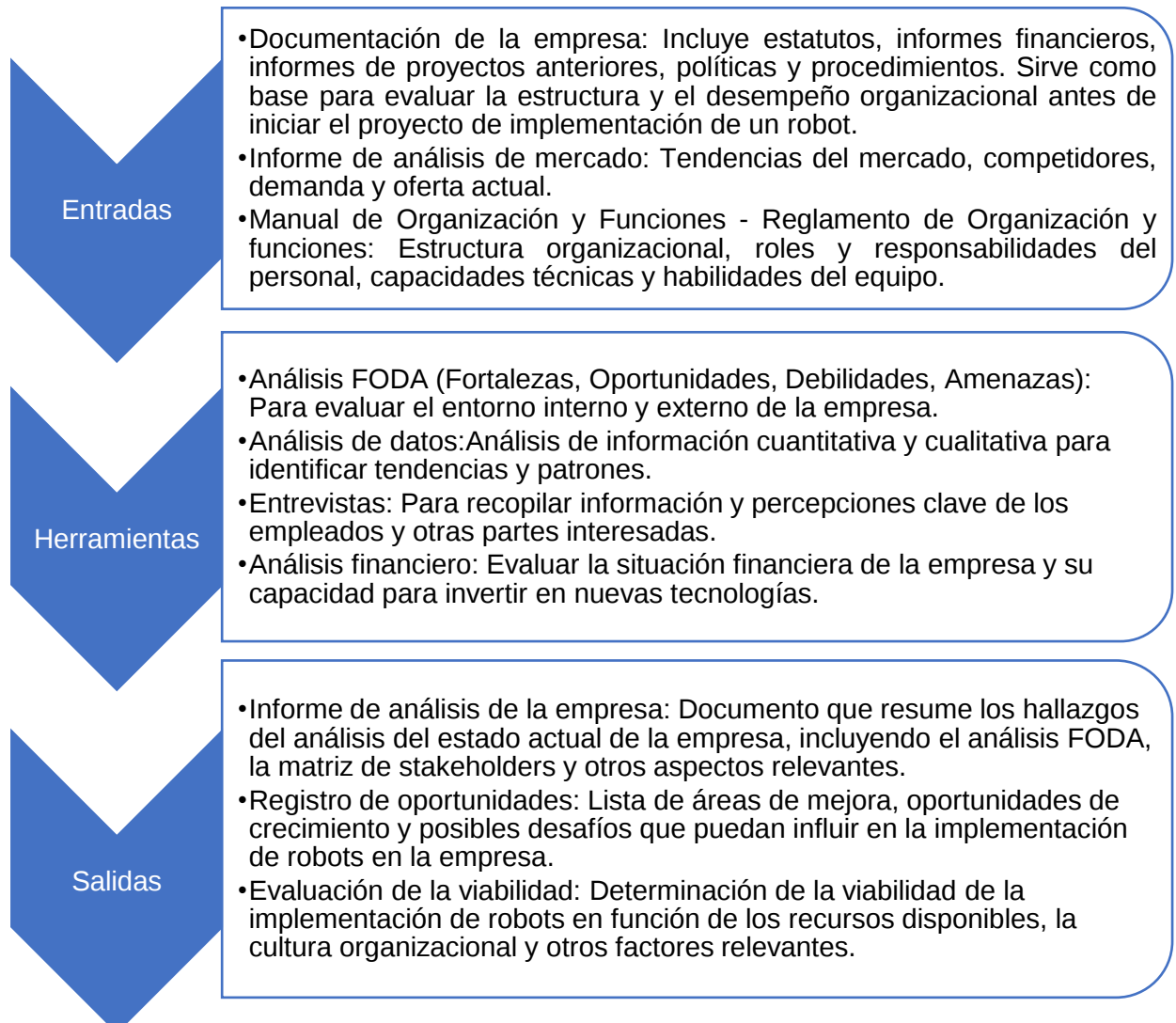
Código	Nombre del proceso
F1.1	Revisar el estatus de la empresa
F1.2	Revisar estatus de proyectos
F1.3	Revisar influencias de la empresa

Fuente: Elaboración propia

F1.1. Revisar el estatus de la empresa

Este proceso tiene como objetivo realizar una evaluación exhaustiva del estado actual de la empresa, incluyendo su visión, misión, valores, estructura organizacional, cultura, capacidades financieras y experiencia en proyectos. Se analizan las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (FODA) de la empresa, así como su capacidad para adoptar nuevas tecnologías como la implementación de robots en sus procesos constructivos. De esta manera se determina si la empresa se alinea con los valores y principios de la hoja de ruta, así como también su valoración sobre los impulsores de la implementación de robots (ver Figura 16).

Figura 16. Revisar el estatus de la empresa: entradas, herramientas y salidas

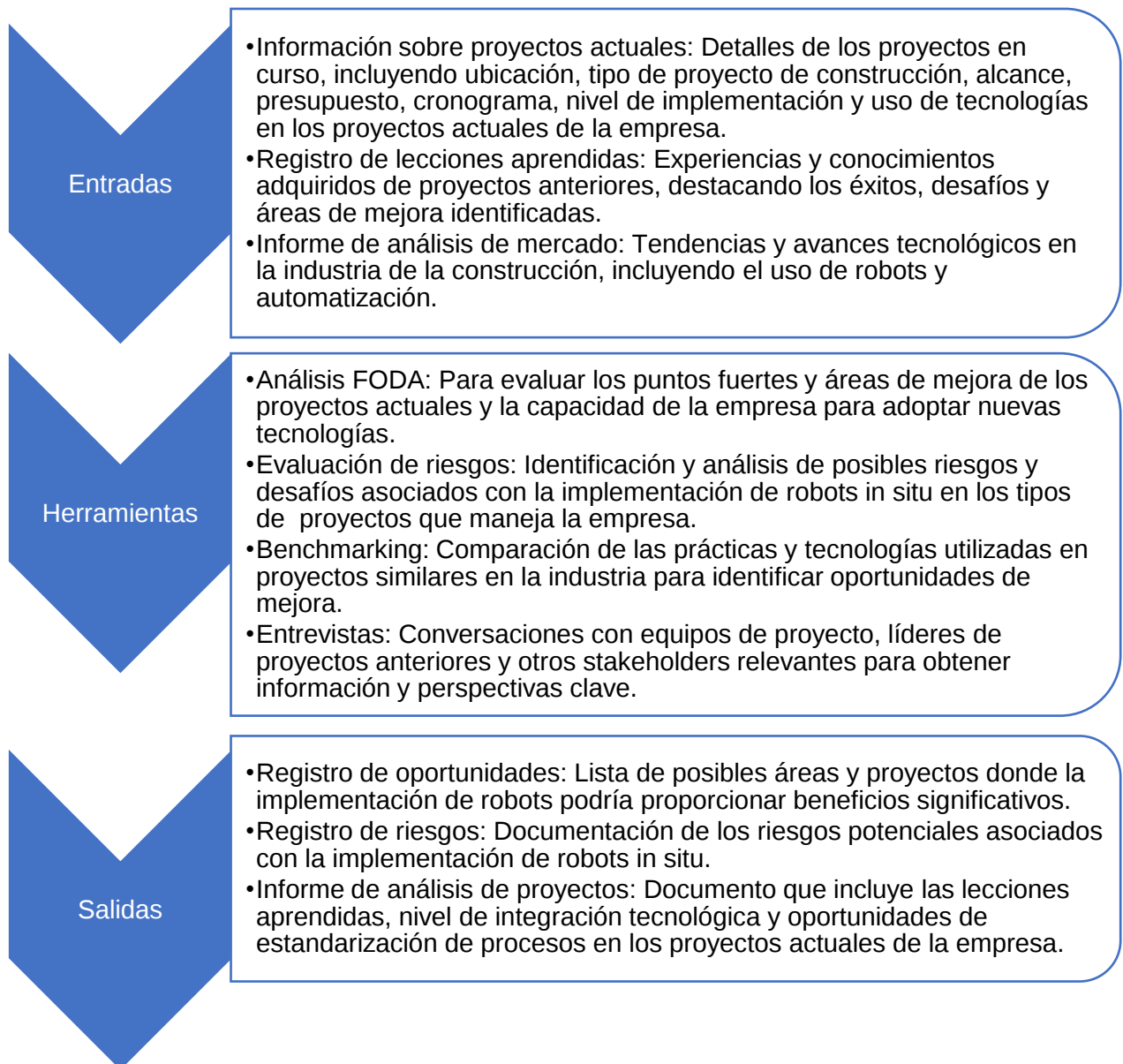


Fuente: Elaboración propia

F1.2. Revisar el estatus de proyectos

Este proceso implica la revisión detallada de los proyectos actuales de la empresa, así como de las lecciones aprendidas de proyectos anteriores. Se evalúan las posibilidades de sistematización de procesos en los diferentes proyectos, considerando el nivel actual de uso de tecnología. El objetivo es identificar oportunidades y desafíos propios de la empresa para la implementación de robots in situ en proyectos de construcción (ver Figura 17).

Figura 17. Revisar el estatus de proyectos: entradas, herramientas y salidas

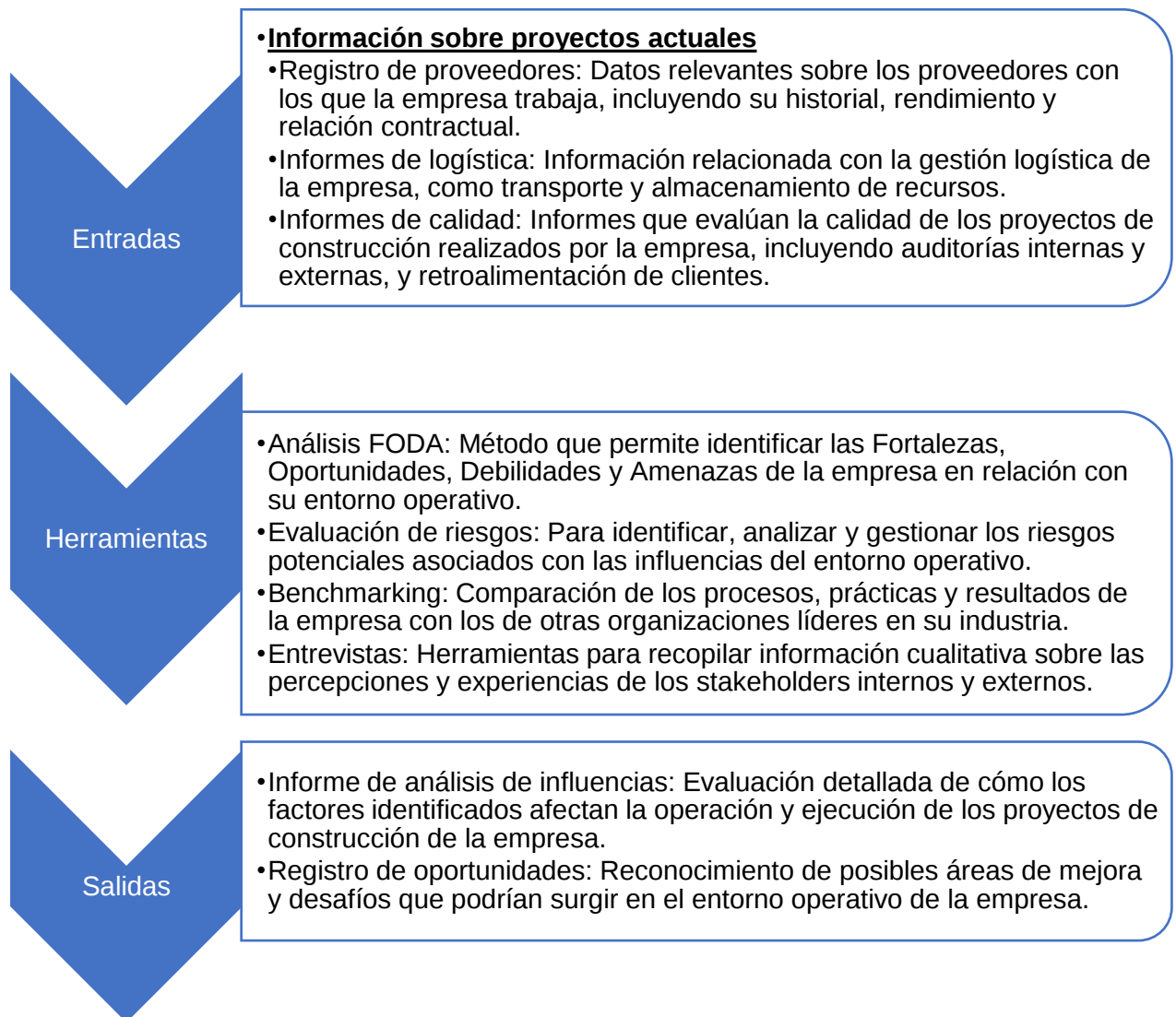


Fuente: Elaboración propia

F1.3. Revisar influencias de la empresa

Este proceso tiene como objetivo analizar el contexto operativo de la empresa, identificando y evaluando los diversos factores e influencias que afectan la ejecución de proyectos. Se recopilan y revisan datos relacionados con proveedores, logística, adquisiciones, comunicaciones, calidad y otros aspectos relevantes para la operación de la empresa. Este análisis permite comprender mejor el entorno en el que opera la organización (ver Figura 18).

Figura 18. Revisar influencias de la empresa: entradas, herramientas y salidas



Fuente: Elaboración propia

5.3.5 Fase 2: Evaluación integral de soluciones robóticas

Esta fase se centra en la selección y análisis exhaustivo de la mejor solución robótica para integrar en el proceso constructivo seleccionado. Esta fase comprende la identificación del proceso constructivo, el análisis detallado de sus actividades y requisitos, así como la evaluación minuciosa de todas las alternativas de robots disponibles en el mercado (ver Tabla 44). El objetivo es tomar decisiones informadas y estratégicas que aseguren la implementación exitosa del robot in situ, optimizando así la eficiencia y calidad de las operaciones.

Tabla 44. *Procesos de la Fase 2 de la hoja de ruta*

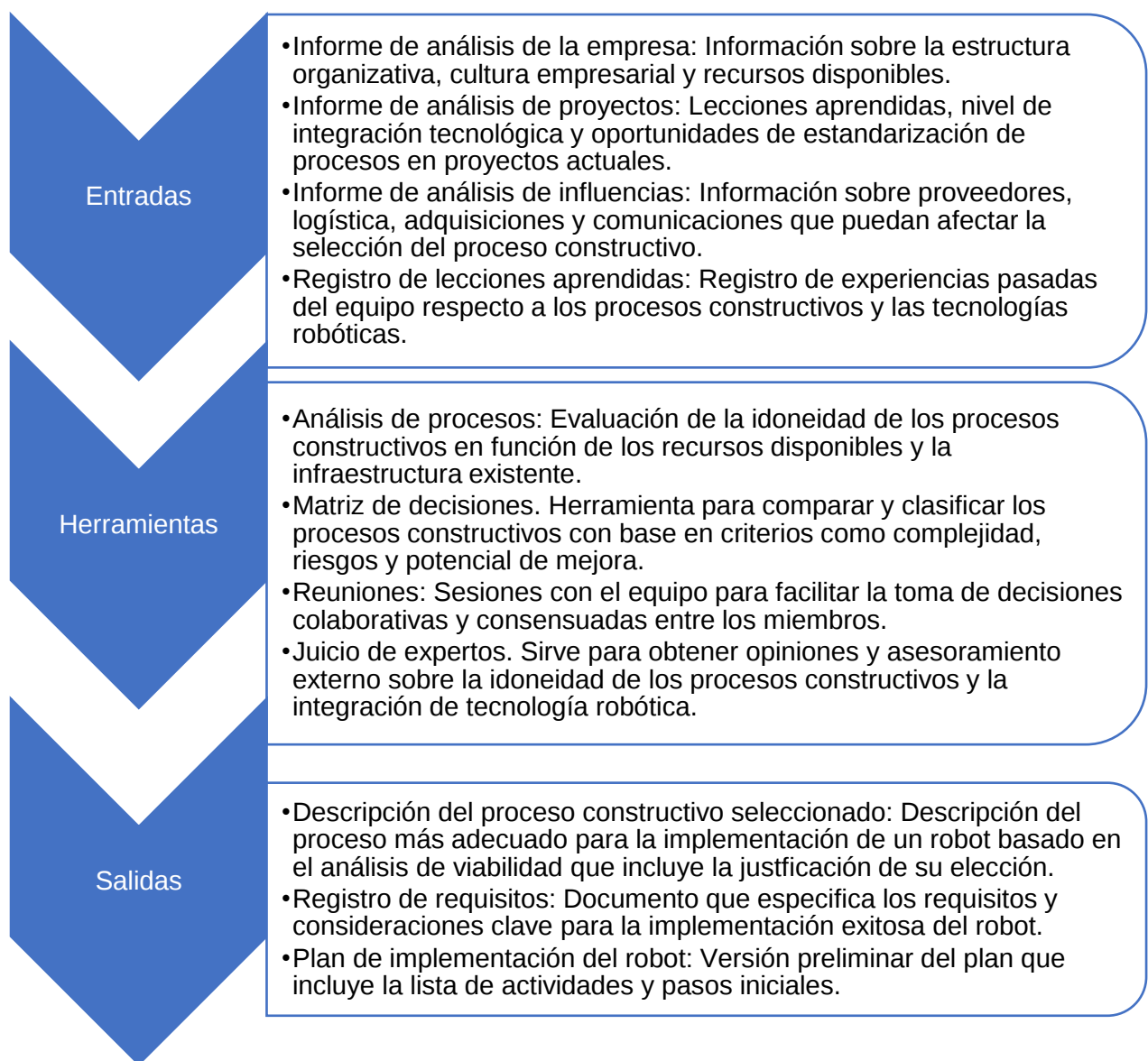
Código	Nombre
F2.1	Seleccionar el proceso constructivo
F2.2	Analizar el proceso constructivo seleccionado
F2.3	Analizar las alternativas disponibles de robots

Fuente: Elaboración propia

F2.1. Seleccionar el proceso constructivo

Este proceso busca identificar el proceso constructivo más adecuado para la integración de tecnología robótica. Utilizando la información recopilada en la Fase 1, se analizan factores como la complejidad del proyecto, los recursos disponibles y las capacidades tecnológicas. Se realiza una evaluación exhaustiva para seleccionar el proceso que maximice los beneficios potenciales y se alinee con los objetivos estratégicos de la empresa en términos de innovación y competitividad (ver Figura 19).

Figura 19. Revisar influencias de la empresa: entradas, herramientas y salidas

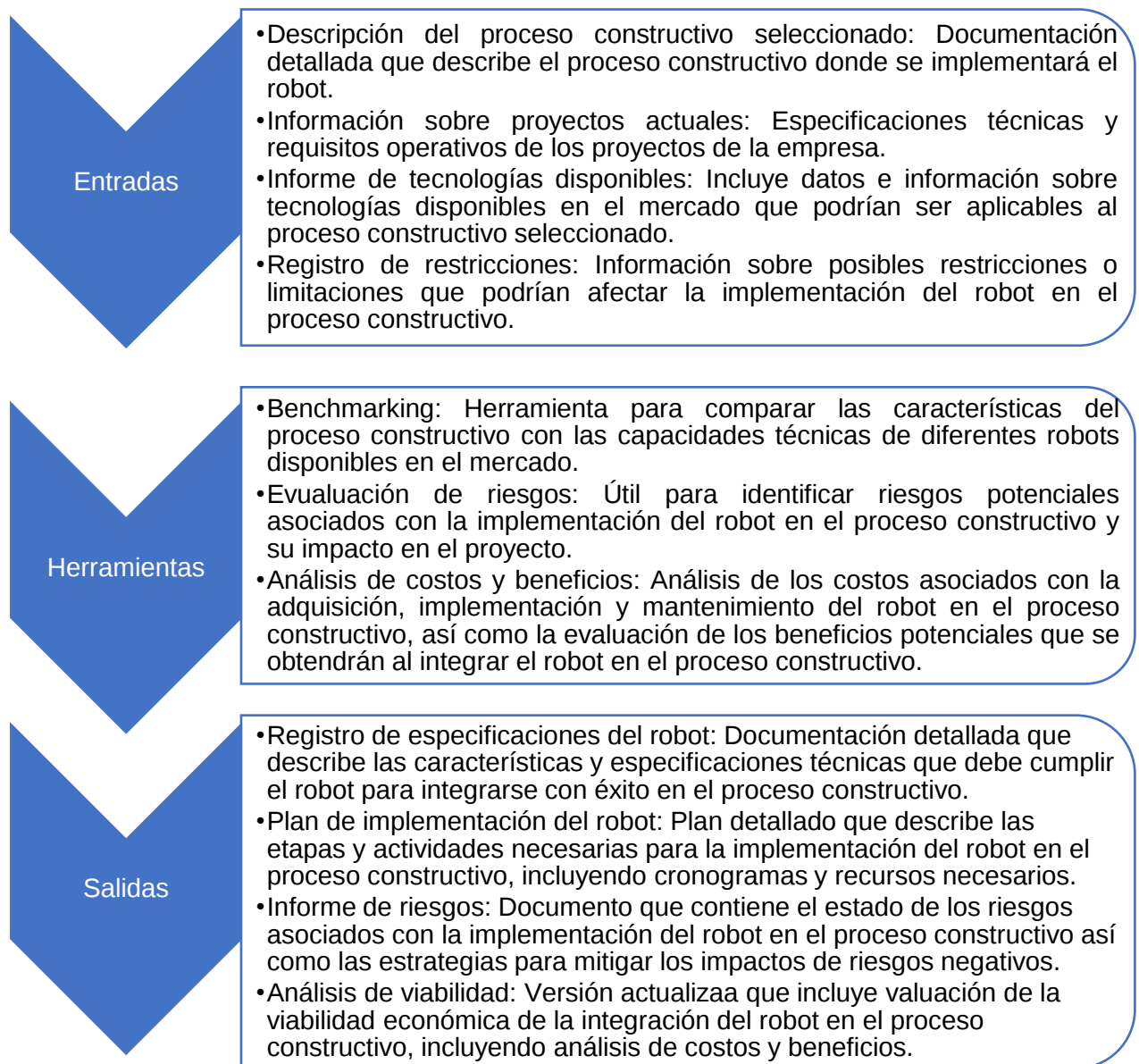


Fuente: Elaboración propia

F2.2. Analizar el proceso constructivo seleccionado

Este proceso implica un análisis detallado del proceso constructivo seleccionado para identificar las características específicas que debe tener el robot para completar las actividades de manera eficiente y efectiva (ver Figura 20).

Figura 20. Analizar el proceso constructivo seleccionado: entradas, herramientas y salidas

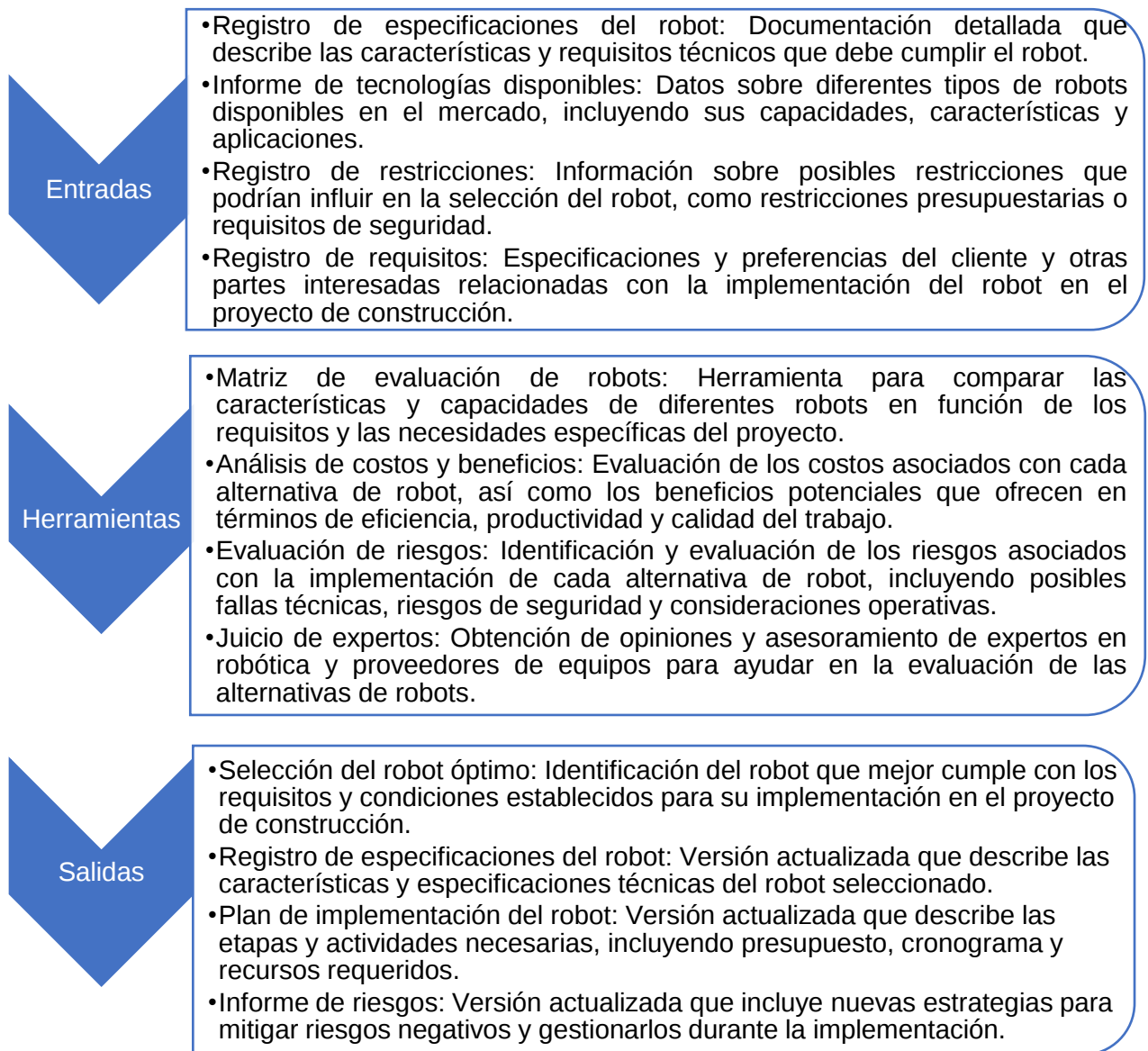


Fuente: Elaboración propia

F2.3. Analizar las alternativas disponibles de robots

Este proceso implica una evaluación de todas las alternativas de robots disponibles que puedan ser utilizadas para el proceso constructivo seleccionado. El objetivo es comparar estas alternativas para determinar cuál de ellas cumple con todos los requisitos y condiciones necesarios para su implementación exitosa en el proyecto de construcción (ver Figura 21). Cabe mencionar que es importante tener en consideración las alternativas disponibles según la ubicación del proyecto.

Figura 21. Analizar las alternativas disponibles de robots: entradas, herramientas y salidas



Fuente: Elaboración propia

5.3.6 Fase 3: Gestión de costos y preparación del sitio

Esta fase se enfoca en dos aspectos clave para la implementación del robot en el proyecto de construcción. Por un lado, se calcula el presupuesto necesario y se identifican los riesgos potenciales para establecer medidas de mitigación. Por otro lado, se acondiciona el entorno de trabajo para la instalación del robot, asegurando un entorno seguro y propicio. Estos procesos garantizan una gestión eficiente de los recursos financieros y una preparación adecuada del sitio, sentando las bases para una implementación exitosa del robot (ver Tabla 45).

Tabla 45. *Procesos de la Fase 3 de la hoja de ruta*

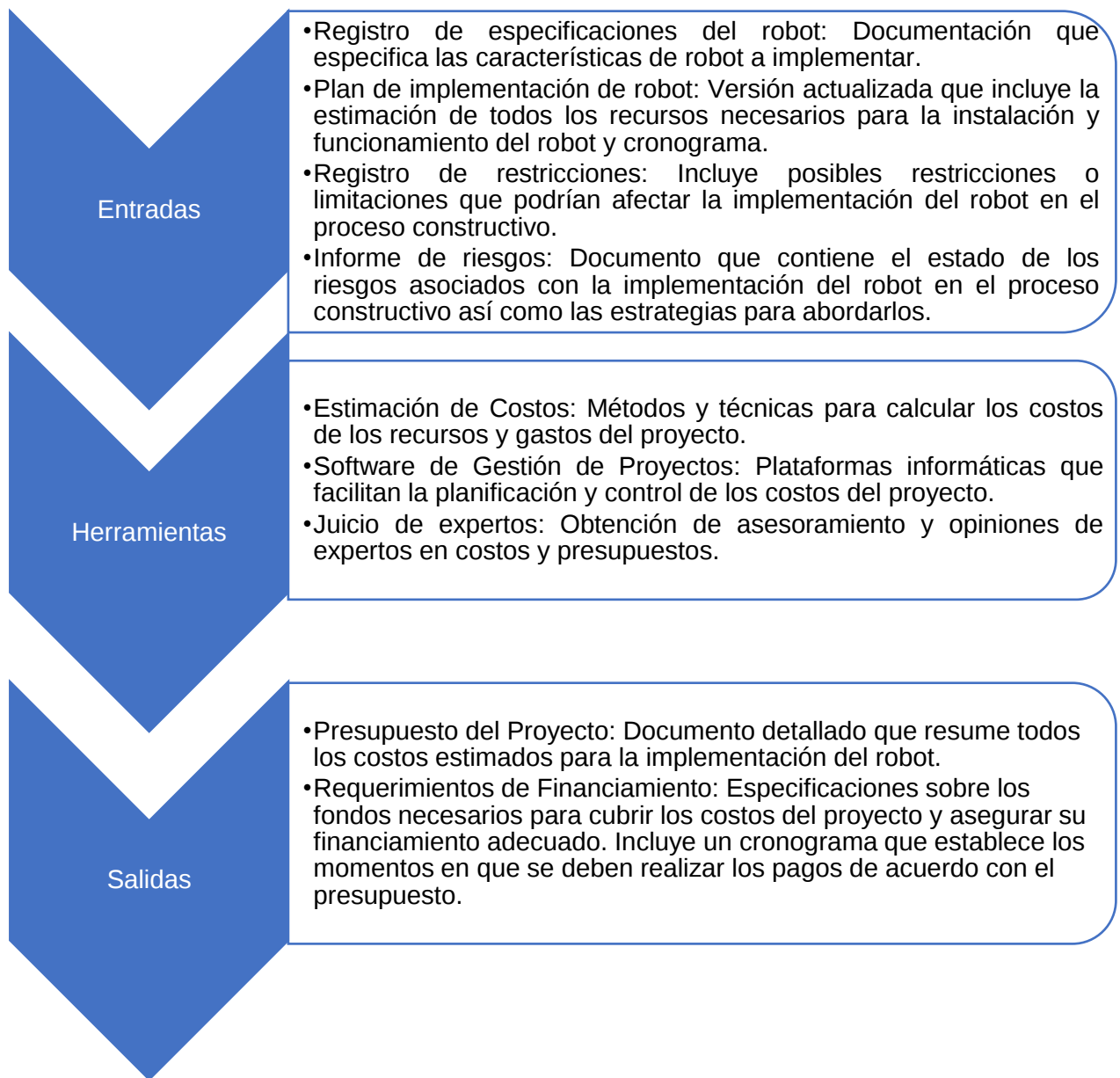
Código	Nombre
F3.1	Determinar el presupuesto
F3.2	Identificar riesgos
F3.3	Acondicionar el entorno de trabajo

Fuente: Elaboración propia

F3.1. Determinar el presupuesto

Este proceso implica calcular de manera detallada los costos asociados con la implementación del proyecto de robotización. Esto incluye estimar todos los recursos necesarios y los gastos relacionados con la instalación in situ del robot en el entorno de construcción (ver Figura 22).

Figura 22. Determinar el presupuesto: entradas, herramientas y salidas

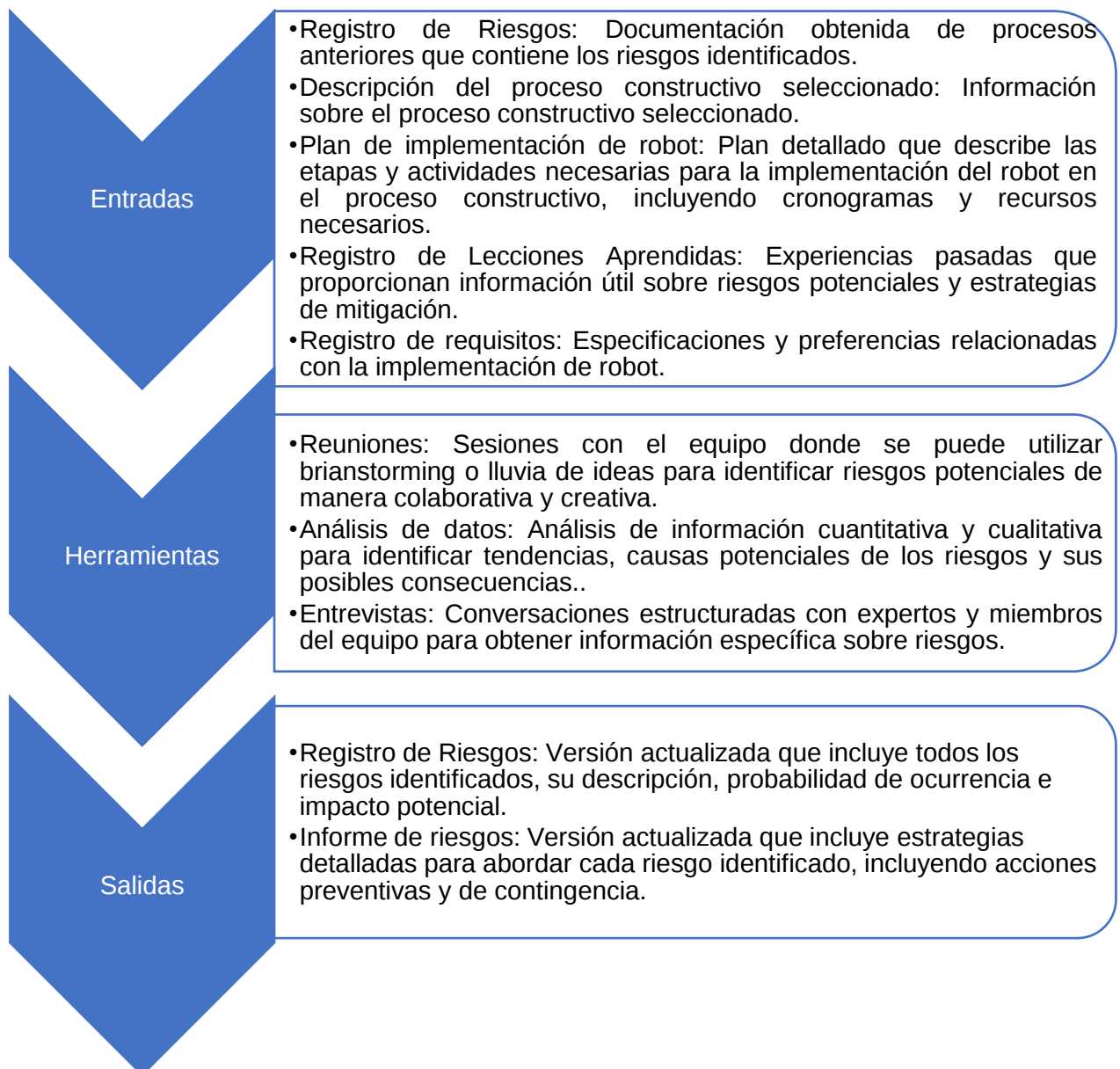


Fuente: Elaboración propia

F3.2. Identificar riesgos

Este proceso implica la revisión y actualización de los riesgos identificados previamente, así como la identificación de nuevos riesgos potenciales. El objetivo es obtener un registro de riesgos actualizado y completo que sirva de base para establecer medidas de acción y estrategias de mitigación (ver Figura 23).

Figura 23. *Identificar riesgos: entradas, herramientas y salidas*

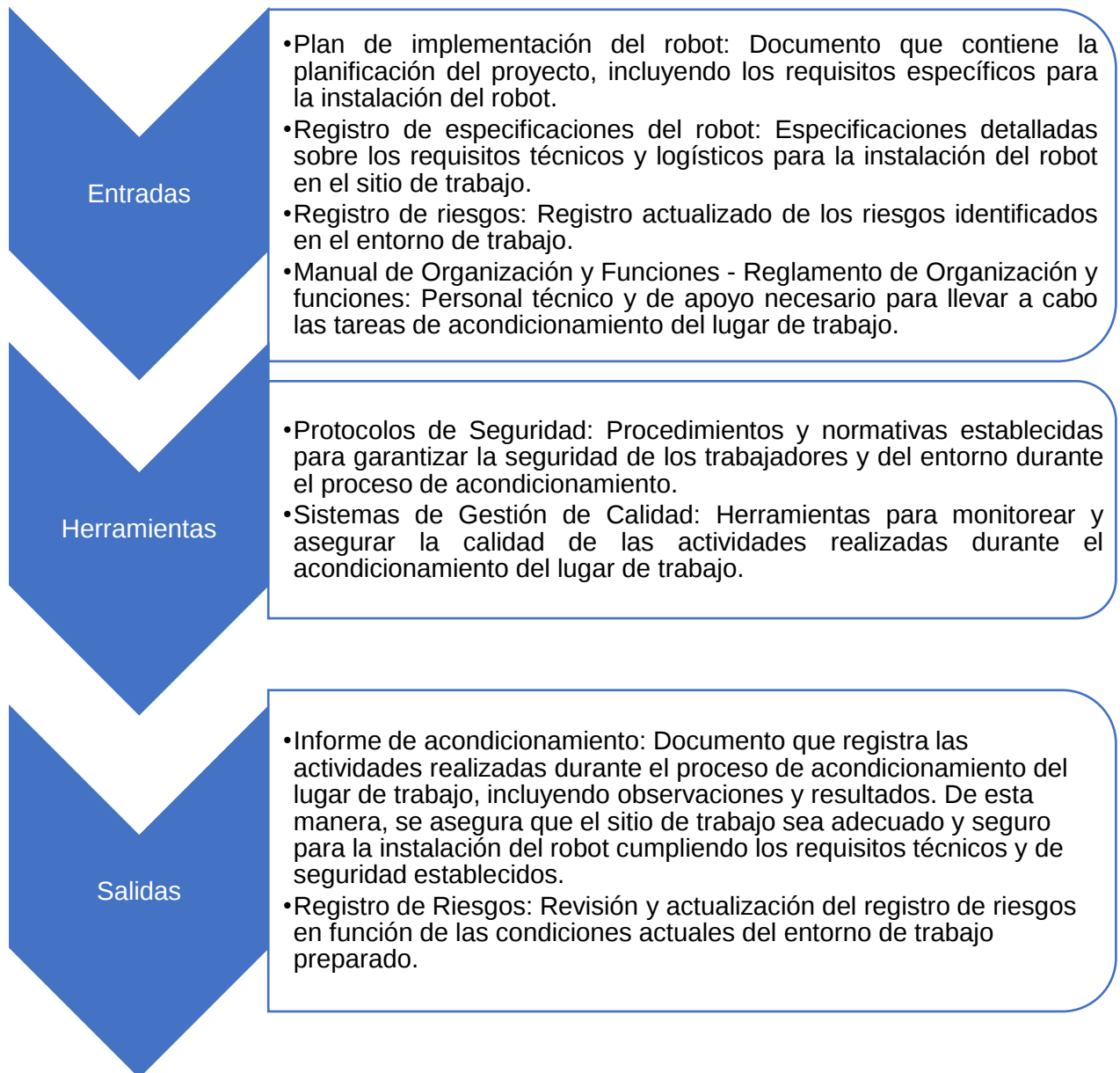


Fuente: Elaboración propia

F3.3. Acondicionar el entorno de trabajo

Este proceso se centra en preparar el entorno de construcción para la instalación in situ del robot. Implica realizar las acciones necesarias para garantizar que el sitio de trabajo esté listo y seguro para la implementación del robot, lo que incluye la adecuación de infraestructuras, la implementación de medidas de seguridad y la organización del espacio (ver Figura 24).

Figura 24. Acondicionar el lugar de trabajo: entradas, herramientas y salidas



Fuente: Elaboración propia

5.3.7 Fase 4: Integración del robot y cierre del proyecto

Esta fase culmina el proyecto de implementación del robot en la construcción. A través del primer proceso se garantiza la correcta instalación y funcionamiento del robot en el sitio. El segundo proceso evalúa si se han alcanzado los objetivos y recopila los resultados finales, facilitando una transición efectiva del proyecto hacia su conclusión y proporcionando retroalimentación para futuras mejoras (ver Tabla 46).

Tabla 46. Integración del robot y cierre del proyecto: entradas, herramientas y salidas

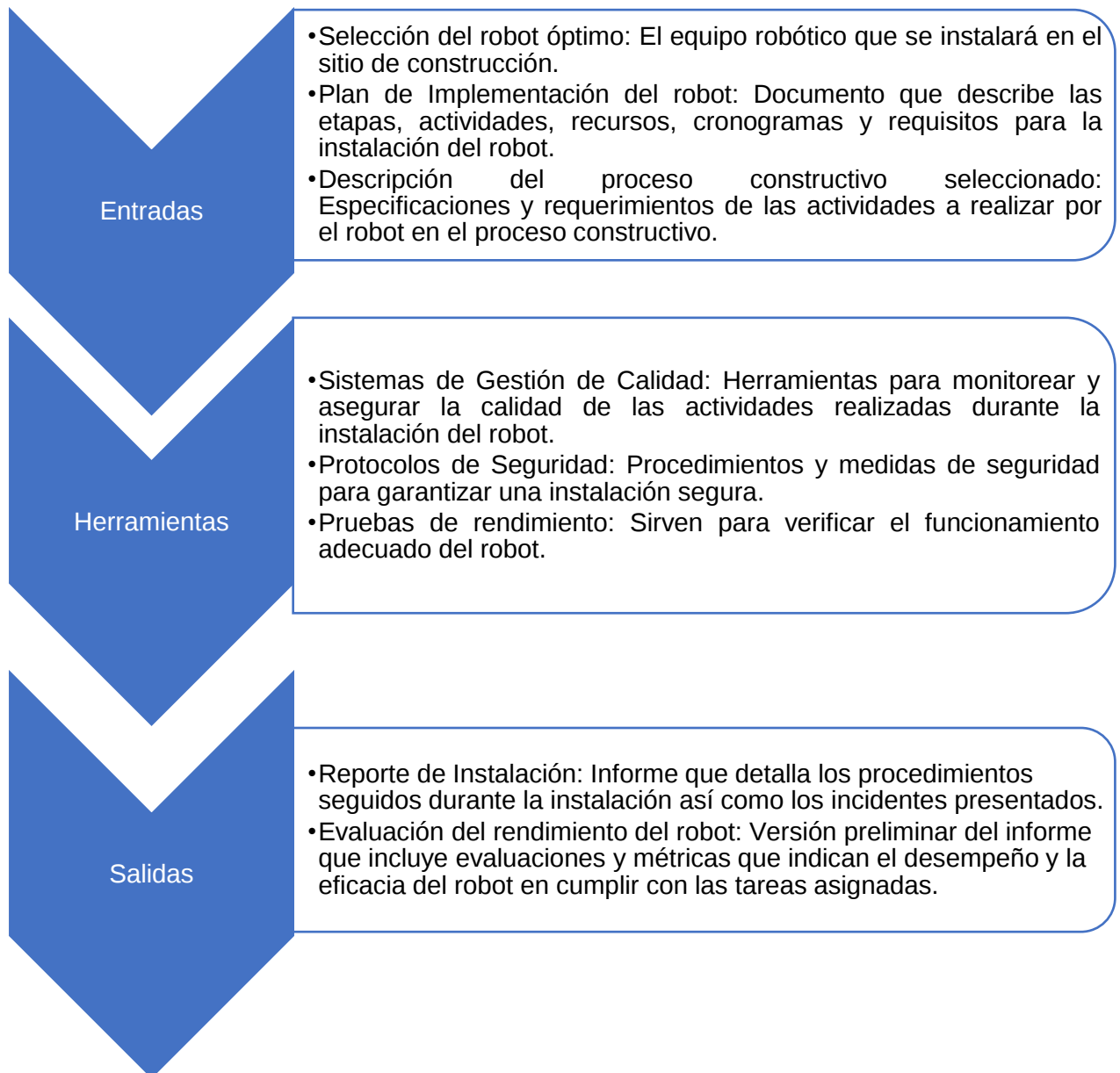
Código	Nombre
F4.1	Instalar el robot
F4.2	Evaluar y cerrar el proyecto

Fuente: Elaboración propia

F4.1. Instalar el robot

Este proceso se centra en la instalación y configuración del robot en el sitio de construcción, verificando su funcionamiento para asegurar que cumpla con las tareas del proceso constructivo identificado. Utiliza herramientas, manuales de instrucciones y protocolos de seguridad para garantizar una instalación adecuada y segura (ver Figura 25).

Figura 25. Instalar el robot: entradas, herramientas y salidas

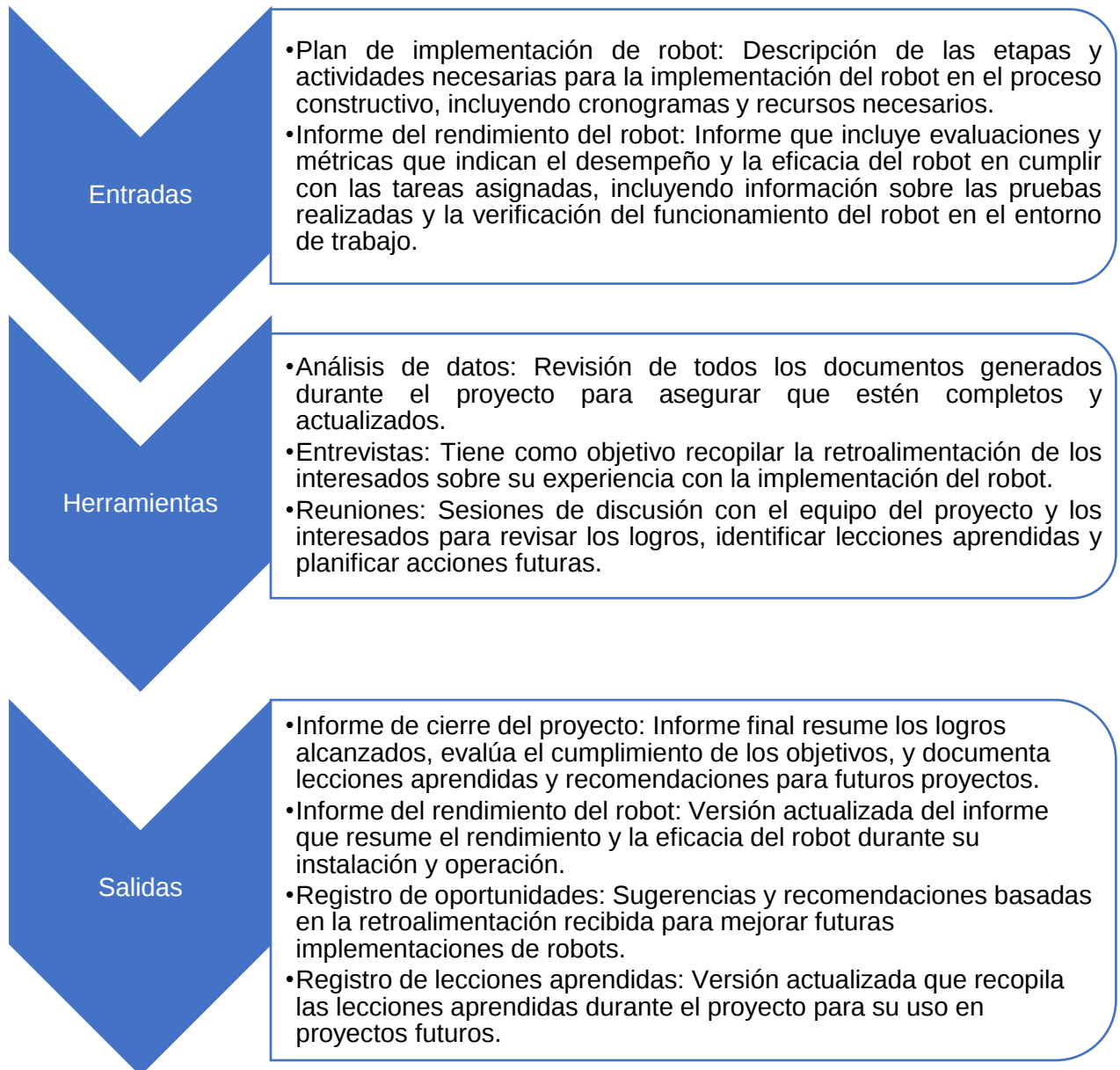


Fuente. Elaboración propia

F4.2. Evaluar y cerrar el proyecto

Este proceso se enfoca en establecer un punto de referencia para verificar si el proyecto de implementación del robot ha alcanzado sus objetivos y obtener retroalimentación sobre la instalación in situ del robot (ver Figura 26).

Figura 26. Cerrar el proyecto: entradas, herramientas y salidas



Fuente. Elaboración propia

5.3.8 Descripción de entradas y salidas

A continuación, se muestra la lista de artefactos con sus respectivas descripciones y presencia en los procesos de la hoja de ruta como entradas y salidas. Durante la aplicación de la hoja de ruta no es necesario utilizar todos los artefactos, solo los necesarios para asegurar la implementación adecuada del robot (ver Tabla 47).

Tabla 47. Entradas y salidas de la hoja de ruta: artefactos

Artefactos	Nombre	Descripción	Presencia en procesos	
			Como entradas	Como salidas
AFCC01	Documentación de la empresa	Incluye estatutos, informes financieros, informes de proyectos anteriores, políticas y procedimientos. Sirve como base para evaluar la estructura y el desempeño organizacional antes de iniciar el proyecto de implementación de un robot.	F1.1	
AFC02	Informe de análisis de mercado	Tendencias del mercado, competidores, demanda y oferta actual, empresas competidoras y nivel de uso de robots y automatización del mercado.	F1.1, F1.2	
AFC03	Manual de Organización y Funciones-Reglamento de Organización y funciones	Estructura organizacional, roles y responsabilidades del personal, capacidades técnicas y habilidades del equipo.	F1.1, F3.3	
AFC04	Información sobre proyectos actuales	Detalles de los proyectos en curso, incluyendo ubicación, tipo de proyecto de construcción, alcance, especificaciones técnicas, requisitos operativos, presupuesto, cronograma, proveedores, logística, informes de calidad, nivel de implementación y uso de tecnologías en los proyectos actuales de la empresa.	F1.2, F1.3, F2.2	
AFC05	Registro de lecciones aprendidas	Registro de experiencias y conocimientos adquiridos de proyectos anteriores, destacando los éxitos, desafíos o problemas enfrentados y sus soluciones.	F1.2, F2.1, F3.2	F4.2

AFC06	Informe de análisis de la empresa	Documento que resume los hallazgos del análisis del estado actual de la empresa, incluyendo el análisis FODA, la matriz de interesados, cultura empresarial, recursos disponibles y otros aspectos relevantes.	F2.1	F1.1
AFC07	Informe de análisis de proyectos	Documento que incluye las lecciones aprendidas, nivel de integración tecnológica y oportunidades de estandarización de procesos en los proyectos actuales de la empresa.	F2.1	F1.2
AFC08	Informe de análisis de influencias	Evaluación detallada de cómo los factores identificados (proveedores, logística, adquisiciones y comunicaciones) afectan la operación y ejecución de los proyectos de construcción de la empresa.	F2.1	F1.3
AFC09	Descripción del proceso constructivo seleccionado	Descripción del proceso más adecuado para la implementación de un robot basado en el análisis de viabilidad que incluye la justificación de su elección, especificaciones y requerimientos de las actividades a realizar por el robot en el proceso constructivo.	F2.2, F4.1	F2.1
AFC10	Informe de tecnologías disponibles	Documento que incluye datos e información sobre tecnologías disponibles en el mercado que podrían ser aplicables al proceso constructivo seleccionado que incluye sus características, capacidades y aplicaciones.	F2.2, F2.3	
AFC11	Registro de restricciones	Documento que incluye las posibles restricciones o limitaciones que podrían afectar la implementación del robot en el proceso constructivo.	F2.2, F2.3, F3.1	
AFC12	Registro de especificaciones del robot	Documentación detallada que describe las características y requisitos técnicos que debe cumplir el robot para integrarse con éxito en el proceso constructivo seleccionado.	F2.3, F3.1, F3.3	F2.2, F2.3
AFC13	Registro de requisitos	Especificaciones y preferencias del cliente y otras partes interesadas relacionadas con la implementación del robot en el proyecto de construcción.	F2.3, F3.2	F2.1
AFC14	Plan de implementación de robot	Plan detallado que describe las etapas y actividades necesarias para la implementación del robot en el proceso	F3.1, F3.2, F3.3,	F2.1, F2.2, F2.3

		constructivo, incluyendo cronogramas y recursos necesarios.	F4.1, F4.2	
AFC15	Registro de Riesgos	Documentación de los riesgos potenciales asociados con la implementación de robots in situ que incluye todos los riesgos identificados, su descripción, probabilidad de ocurrencia e impacto potencial.	F3.2, F3.3	F1.2, F3.2, F3.3
AFC16	Selección del robot óptimo	Identificación del robot que mejor cumple con los requisitos y condiciones establecidos para su implementación en el proyecto de construcción.	F4.1	F2.3
AFC17	Informe del rendimiento del robot	Informe que contiene evaluaciones y métricas que indican el desempeño y la eficacia del robot en cumplir con las tareas asignadas, incluyendo información sobre las pruebas realizadas y la verificación del funcionamiento del robot en el entorno de trabajo.	F4.2	F4.1, F4.2
AFC18	Registro de oportunidades	Lista de áreas de mejora, oportunidades de crecimiento y posibles desafíos que puedan influir en la implementación de robots en la empresa.		F1.1, F1.2, F1.3, F4.2
AFC19	Evaluación de la viabilidad	Determinación de la viabilidad de la implementación de robots en función de los recursos disponibles, la cultura organizacional y otros factores relevantes.		F1.1
AFC20	Informe de riesgos	Documento que contiene el estado de los riesgos asociados con la implementación del robot en el proceso constructivo, así como las estrategias para mitigar los impactos de riesgos negativos.	F3.1	F2.2, F2.3, F3.2
AFC21	Presupuesto del Proyecto	Documento detallado que resume todos los costos estimados para la implementación del robot.		F3.1
AFCC22	Requerimientos de Financiamiento	Especificaciones sobre los fondos necesarios para cubrir los costos del proyecto y asegurar su financiamiento adecuado. Incluye un cronograma que establece los momentos en que se deben realizar los pagos de acuerdo con el presupuesto.		F3.1

AFC23	Informe de acondicionamiento	Documento que registra las actividades realizadas durante el proceso de acondicionamiento del entorno de trabajo previo a la instalación del robot, incluyendo observaciones y resultados.	F3.3
AFC24	Reporte de Instalación	Informe que detalla los procedimientos seguidos durante la instalación, así como los incidentes presentados.	F4.1
AFC25	Informe de cierre del proyecto	Informe final resume los logros alcanzados, evalúa el cumplimiento de los objetivos, y documenta lecciones aprendidas y recomendaciones para futuros proyectos.	F4.2

Fuente: Elaboración propia

5.3.9 Descripción de herramientas

A continuación, se muestra la lista de herramientas con sus respectivas descripciones y presencia en los procesos de la hoja de ruta. Durante la aplicación de la hoja de ruta no es necesario utilizar todas las herramientas presentadas a continuación, solo aquellas herramientas que faciliten el desarrollo de los procesos de la hoja de ruta (ver Tabla 48).

Tabla 48. *Herramientas de la hoja de ruta*

Herramientas	Nombre	Descripción	Presencia en procesos
HERR_01	Análisis FODA	Para evaluar el entorno interno y externo de la empresa.	F1.1, F1.2, F1.3
HERR_02	Entrevistas	Para recopilar información y percepciones clave de los empleados y otras partes interesadas.	F1.1, F1.2, F1.3, F3.2, F4.2
HERR_03	Análisis financiero	Evaluar la situación financiera de la empresa y su capacidad para invertir en nuevas tecnologías.	F1.1
HERR_04	Evaluación de riesgos	Identificación y análisis de posibles riesgos y desafíos asociados con la implementación de robots in situ en los tipos de proyectos que maneja la empresa.	F1.2, F1.3, F2.2, F2.3
HERR_05	Benchmarking	Comparación de las prácticas y tecnologías utilizadas en proyectos similares en la industria para identificar oportunidades de mejora.	F1.2, F1.3, F2.2

HERR_06	Análisis de procesos	Evaluación de la idoneidad de los procesos constructivos en función de los recursos disponibles y la infraestructura existente.	F2.1
HERR_07	Matriz de decisiones	Herramienta para comparar y clasificar los procesos constructivos con base en criterios como complejidad, riesgos y potencial de mejora.	F2.1
HERR_08	Reuniones	Sesiones de discusión con el equipo del proyecto y los interesados para revisar los logros, identificar lecciones aprendidas y planificar acciones futuras.	F2.1, F3.2, F4.2
HERR_09	Juicio de expertos	Sirve para obtener opiniones y asesoramiento externo sobre la idoneidad de los procesos constructivos y la integración de tecnología robótica.	F2.1, F2.3, F3.1
HERR_10	Análisis de costos y beneficios	Evaluación de los costos asociados con cada alternativa de robot, así como los beneficios potenciales que ofrecen en términos de eficiencia, productividad y calidad del trabajo.	F2.2, F2.3
HERR_11	Estimación de Costos	Métodos y técnicas para calcular los costos de los recursos y gastos del proyecto.	F3.1
HERR_12	Software de Gestión de Proyectos	Plataformas informáticas que facilitan la planificación y control de los costos del proyecto.	F3.1
HERR_13	Análisis de datos	Análisis de información cuantitativa y cualitativa para identificar tendencias, patrones y posibles riesgos.	F1.1, F3.2, F4.2
HERR_14	Protocolos de Seguridad	Procedimientos y normativas establecidas para garantizar la seguridad de los trabajadores y del entorno durante el proceso de acondicionamiento.	F3.3, F4.1
HERR_15	Sistemas de Gestión de Calidad	Herramientas para monitorear y asegurar la calidad de las actividades realizadas durante el acondicionamiento del entorno de trabajo e instalación del robot.	F3.3, F4.1
HERR_16	Pruebas de rendimiento	Sirven para verificar el funcionamiento adecuado del robot.	F4.1

Fuente: Elaboración propia

5.4 Validación de la hoja de ruta

5.4.1 Selección de expertos

La definición de los requisitos de experiencia y formación académica son esenciales para asegurar una adecuada validación de la propuesta de hoja de ruta. Por ello, se consideró como expertos a profesionales de ingeniería civil con más de diez años de experiencia y que hayan culminado sus estudios de post grado (maestría o

doctorado). A continuación, se muestra la Tabla 49 que resume sus perfiles académicos y profesionales.

Tabla 49. Profesionales seleccionados como expertos para la validación de la hoja de ruta

N°	Grado	Rol	Años de experiencia	Participación en proyectos	Tamaño de empresa donde laboró
EX01	Maestría, Ingeniero Civil	Gerente de Tecnología	20 años	Edificaciones e Infraestructura	Gran empresa
EX02	Maestría, Ingeniero Civil	Gerente General	25 años	Edificaciones e Infraestructura	Mediana empresa
EX03	Doctorado, Maestría, Ingeniero Civil	Gerente de Ingeniería	15 años	Edificaciones e Infraestructura	Gran empresa
EX04	Maestría, Ingeniero Civil	Gerente de un Portafolio de Proyectos Consultor de Proyectos	15 años	Minería, Petróleo y Energía	Gran empresa
EX05	Maestría, Ingeniero Civil	Residente de obra	25 años	Edificaciones, Infraestructura y Minería	Gran empresa
EX06	Maestría, Ingeniero Civil	Residente de obra	10 años	Edificaciones e Infraestructura	Mediana empresa

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Entrevista semiestructurada con expertos

Se contactó a 18 expertos que cumplían los requisitos de experiencia y formación académica antes señalados. Sin embargo, solo respondieron 6 expertos, cuyos perfiles se mostraron en la tabla anterior. Estas entrevistas se desarrollaron de manera virtual utilizando Zoom de acuerdo con la disponibilidad horaria de los expertos. Cada invitación al experto contenía una presentación (ver Anexo C) con información sobre la lista de barreras, lista de beneficios, propuesta de hoja de ruta y la estructura de la entrevista.

Se grabaron todas las entrevistas para procesar la retroalimentación brindada por cada experto al finalizar la entrevista. Cabe precisar que a todos los entrevistados se les compartió la misma información y se siguió la misma estructura de entrevista. Con

el objetivo de facilitar la entrevista semi estructurada se elaboró una presentación en Microsoft Power Point. El contenido de la entrevista semi estructurada se detalla a continuación:

- **Introducción:** En esta parte inicial, se indicó el propósito de la entrevista, el cual es validar una propuesta de hoja de ruta para la implementación de robots en la ejecución de proyectos multifamiliares y se enfatizó la importancia de los comentarios y retroalimentación del entrevistado.
- **Datos generales:** Se solicitó al entrevistado que proporcione su nombre completo y cargo actual, así como detalles sobre su experiencia en la industria de la construcción. Esta información ayuda a contextualizar las respuestas del entrevistado.
- **Propuesta de hoja de ruta:** Aquí se realizó una breve presentación de la hoja de ruta propuesta, destacando su enfoque, esencia, medición, adaptación y estructura. Esta parte profundizó los detalles de la propuesta de hoja de ruta.
- **Validación de la hoja de ruta:** En esta etapa, se buscó la opinión del entrevistado sobre la propuesta de hoja de ruta. Se le preguntó si considera que las fases propuestas en la hoja de ruta son adecuadas para la implementación de robots en la ejecución de proyectos multifamiliares. También, se solicitó su opinión sobre las herramientas propuestas y la viabilidad de los procesos planteados en la hoja de ruta.
- **Comentarios finales:** En la última etapa, se invitó al entrevistado a compartir cualquier comentario adicional o sugerencia que pueda tener sobre la hoja de ruta propuesta o sobre la implementación de robots en general. Esta parte permitió al entrevistado expresar sus opiniones finales y brindar retroalimentación adicional.

5.4.3 Resultados de la entrevista con expertos

Con el objetivo de ordenar los comentarios y sugerencias brindadas por los expertos se creó una matriz (ver Tabla 50) que resume aspectos importantes como: amplitud de la hoja de ruta, limitaciones en el uso de la hoja de ruta, utilidad de la hoja de ruta y comentarios adicionales.

Tabla 50. Matriz de retroalimentación de los expertos seleccionados

N°	Fase 1: Revisión de contexto organizacional de la empresa	Fase 2: Evaluación integral de soluciones robóticas	Fase 3: Gestión de costos y preparación del sitio	Fase 4: Integración del robot y cierre del proyecto
EX01	Me parece bien, es entendible. Esta fase es una buena base para iniciar el proyecto de implementación.	Esta fase me parece importante para seleccionar de manera adecuada el robot y asegurar que el robot cumpla con los requisitos específicos del proyecto.	Ha sido muy explícito y se ha asegurado una planificación financiera adecuada asegurándose que el sitio esté preparado para su implementación.	Considero que, si se siguen las fases anteriores de manera adecuada, esto podría ayudar a garantizar una instalación efectiva. Sin embargo, se podría requerir ajustes a lo largo de la operación del robot.
EX02	Me parece bien, permite comprender de manera adecuada el contexto de la empresa.	Me parece muy bien. Permite evaluar de manera adecuada el proceso constructivo y definir un robot para su implementación.	Me parece correcto, pero me gustaría que se muestre las relaciones entre los procesos a través de gráficos.	Me parece bien. Mi recomendación es que se muestre la información de manera didáctica para que sea comprensible para todos.
EX03	Me parece muy bien para integrar tecnologías de automatización a un proyecto de construcción.	Me parece muy bien para seleccionar la tecnología adecuada según los requerimientos específicos del proceso constructivo seleccionado.	Considero que esta fase ha sido desarrollada de forma muy general y es la fase más importante para el éxito del proyecto de implementación.	Considero que esta fase es muy general. Recomendaría incluir más detalle sobre la programación del robot.
EX04	Me parece muy bien, es útil para la revisión del contexto de la organización.	Me parece bien. Recomiendo profundizar en el análisis de riesgos e incorporar aspectos relacionados a la	Me parece bien. Para que esta fase tenga éxito es necesario definir y delimitar a detalle el proceso constructivo.	Me parece muy bien, es útil para la evaluación de los resultados obtenidos durante el proyecto de implementación del robot.

seguridad y
calidad.

EX05	Me parece muy bien para evaluar el contexto de la empresa. Sin embargo, algunas empresas no cuentan con información estructurada.	Me parece muy bien. Recomiendo incluir puntos de decisión y evaluar la posibilidad de incluir iteraciones entre los procesos para enriquecer el proyecto de implementación del robot.	Me parece bien. Recomiendo incluir la evaluación de la rentabilidad y el impacto económico de la implementación del robot en la operación de la empresa.	Me parece muy bien. Considero que la propuesta desarrollada es adecuada para guiar el proceso de implementación del robot.
EX06	Me parece muy bien, considero que esta fase es importante para asegurar la toma de decisiones informadas para la implementación del robot.	Me parece bien. Considero que esta fase es necesaria para evaluar cuáles son las alternativas de automatización de tareas en entornos de construcción. Sería bueno evaluar opciones de robots para la semi-automatización.	Me parece bien. Recomiendo estructurar la inversión desde un business case. También, recomiendo incorporar bucles de retroalimentación.	Me parece muy bien, es una fase necesaria para la revisión de los logros alcanzados, así como extraer retroalimentación que pueda ser útil para otros proyectos de implementación.

Fuente: Elaboración propia

5.4.4 Concordancia entre expertos

Los expertos revisaron la hoja de ruta preliminar, brindaron su retroalimentación y evaluaron la propuesta de acuerdo con la escala del 1 al 5 en la escala de Likert, para cada fase (ver Tabla 51). El valor de 5 significó “De acuerdo totalmente” y el valor de 1 significó “En desacuerdo totalmente”. Este valor se utilizó para calcular el coeficiente de Kendall en el programa SPSS.

Tabla 51. Calificación de las fases según los expertos

N°	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
EX01	4	4	4	4
EX02	5	4	4	4
EX03	4	3	3	4
EX04	5	4	4	5
EX05	5	4	4	5
EX06	4	3	3	4

Fuente: Elaboración propia

Además, se muestra la Tabla 52 que muestra el rango promedio de cada una de las fases que fue calculado con el programa SPSS con las valoraciones de cada uno de los expertos.

Tabla 52. Valores de rango promedio de las fases

Fases	Rango promedio
Fase 1	3.42
Fase 2	1.75
Fase 3	1.75
Fase 4	3.08

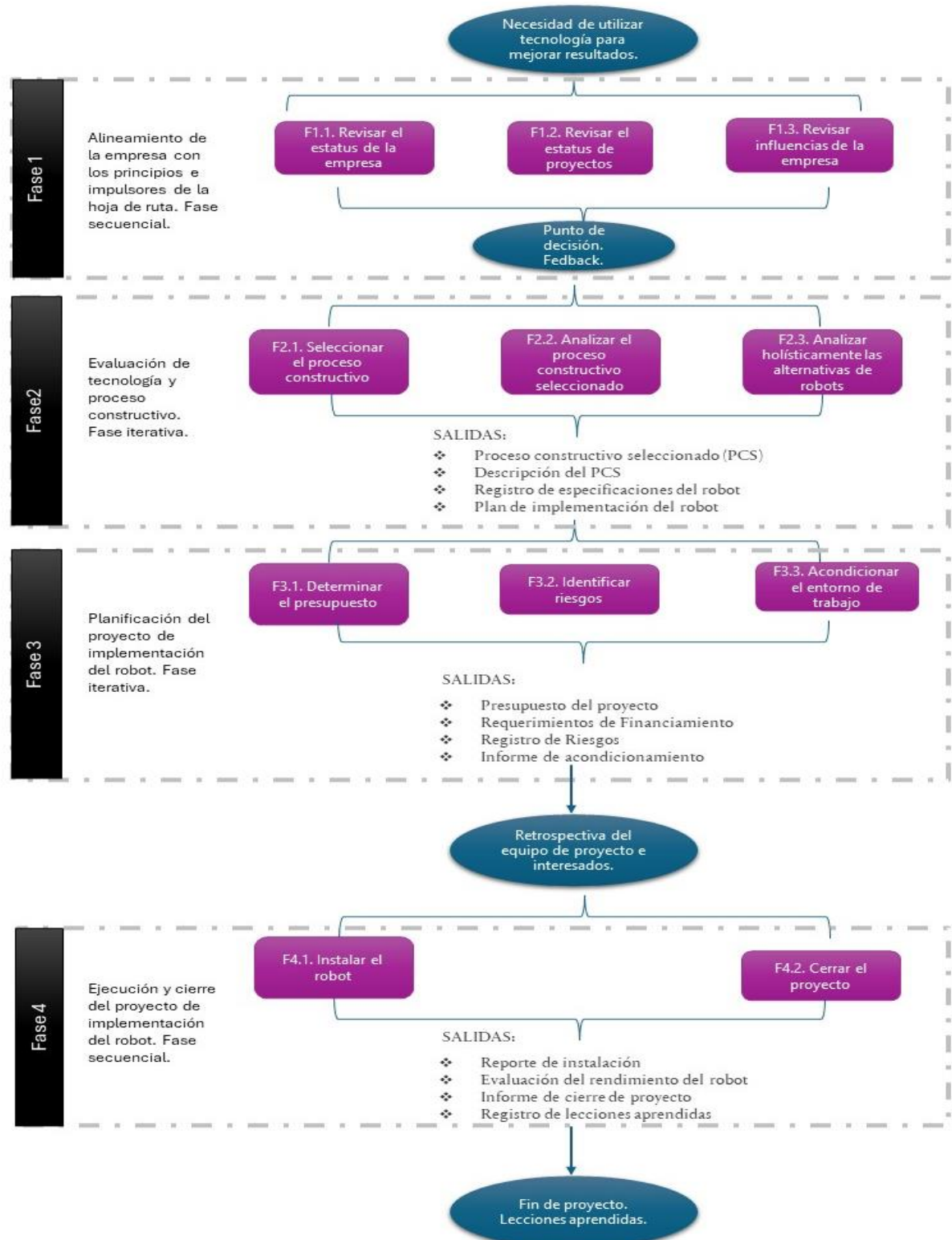
Fuente: Elaboración propia

A partir del uso del software SPSS se determinaron los rangos promedios y se obtuvo un valor $W = 0.728$. Según Valencia et al. (2019), valores de W mayor a 0.65 son aceptados como una referencia a una sólida investigación debido a que los expertos concuerdan que se propone una buena solución al fenómeno de estudio (Valencia et al., 2019).

5.4.5 Hoja de ruta final

Luego de las entrevistas con expertos, se elaboró un diagrama de flujo que permitió visualizar de manera sencilla y completa los procesos de la propuesta de hoja de ruta. Cabe precisar que la hoja de ruta inicia con la necesidad de mejorar los resultados de los proyectos multifamiliares y, a partir de ello, nace la idea de utilizar tecnologías como robots. Además, se consideró la inclusión de iteraciones para las fases 2 y 3 con el objetivo de mejorar iterativamente las salidas de los procesos, así como puntos de retrospectiva, retroalimentación y generación de lecciones aprendidas. Cabe destacar que la propuesta de hoja de ruta (ver Figura 27) busca centrarse en el proceso constructivo, garantizando que la implementación del robot genere beneficios para la empresa en términos de productividad, calidad y seguridad.

Figura 27. Hoja de ruta para implementar robots en proyectos multifamiliares



Fuente: Elaboración propia

5.4.6 Limitaciones de la hoja de ruta

La hoja de ruta presenta algunas limitaciones. Los costos iniciales de adquisición e instalación de robots pueden ser elevados, representando una barrera para empresas con recursos financieros limitados, por lo cual se enfatiza en medianas y grandes empresas. La adopción de nuevas tecnologías como la robótica puede enfrentar resistencia por parte de trabajadores y gerentes acostumbrados a métodos tradicionales, por lo cual las empresas deben fomentar un ambiente de innovación y apertura hacia nuevas tecnologías. Además, la integración de robots en procesos constructivos existentes puede presentar desafíos técnicos y organizacionales, requiriendo ajustes significativos en los métodos de trabajo. Por otro lado, su enfoque está orientado desde la perspectiva empresarial, dejando fuera las iniciativas gubernamentales. En este contexto, la aplicación de la hoja de ruta es una propuesta para medianas y grandes empresas que les permitirá incrementar de manera significativa la probabilidad de éxito en la implementación del robot.

Capítulo VI: Aplicación práctica de la hoja de ruta para la implementación de un robot

6.1 Selección de caso de estudio

Según la metodología de investigación, se requiere aplicar la hoja de ruta a un caso de estudio para validar la propuesta en la partida de instalación de drywall. Se realizó una simulación de lo que una empresa que desea implementar un robot debería hacer. Para esta simulación, se definió una empresa que construye edificaciones multifamiliares en Lima y que utiliza el sistema drywall. Además, esta empresa cumplió las consideraciones para el uso de la hoja de ruta. Estas consideraciones incluyeron las siguientes características:

- Mediana o gran empresa.
- Empresa que fomenta la cultura de innovación dentro de sus colaboradores, promoviendo la exploración y la experimentación con soluciones tecnológicas.
- Empresa que tiene políticas efectivas de medición y control de sus procesos constructivos.
- Empresa que tiene un sistema de gestión de innovación que brinde soporte al proyecto de implementación del robot.
- Empresa que pone en práctica los valores de la hoja de ruta: colaboración, mejora continua, transparencia, visión al largo plazo y reflexión.

6.2 Ética del caso de estudio

Si bien la empresa del caso de estudio representa una organización definida a priori por el autor de esta investigación, es importante precisar que los datos correspondientes al proyecto multifamiliar corresponden a una edificación real. Antes de comenzar el caso de estudio, se solicitó aprobación para el manejo de los datos, con la condición de mantener el anonimato tanto del personal como del proyecto y la empresa. Por lo tanto, en el estudio se proporcionarán únicamente datos generales del proyecto en mención, respetando los derechos de los profesionales que amablemente participaron en él.

6.3 Datos generales de la organización de estudio

A continuación, se muestra la Tabla 53 que resume los datos de la empresa seleccionada para el caso de estudio.

Tabla 53. *Características de la empresa del caso de estudio*

Característica	Descripción
Años de experiencia de la empresa	15 años de experiencia
Tipos de proyectos que desarrollan	Edificaciones: Proyectos multifamiliares
Ubicación de sus proyectos	Lima
Tamaño de la empresa	Mediana empresa
Presencia de cultura de innovación	La empresa tiene una orientación hacia la innovación que les permite mantenerse competitivos y asegurar la excelencia en la ejecución de sus proyectos multifamiliares.
Medición y control de sus procesos constructivos	La empresa emplea herramientas y un software de gestión para la medición y control de sus procesos constructivos, asegurando precisión y eficiencia en cada etapa del proyecto.
Sistema de gestión de innovación	La empresa incluye un sistema de gestión de innovación que genera un entorno propicio para la generación, evaluación e implementación de nuevas ideas y tecnologías en sus proyectos.
Valores de la empresa	Innovación, calidad, colaboración y sostenibilidad
¿Reconoce los valores de la hoja de ruta?	Sí

Fuente: Elaboración propia

6.4 Consideraciones para el uso de la hoja de ruta en la partida de instalación de drywall

6.4.1 Enfoque y esencia de la hoja de ruta

Se verificó que la empresa cumpla las características indicadas en el enfoque de la hoja de ruta. Estas características fueron satisfactoriamente descritas en la Tabla 51, por lo cual la empresa cumplió los requisitos para aplicar la hoja de ruta. Además, se realizó la verificación del cumplimiento de los valores descritos en la esencia de la

hoja de ruta. De esta forma, se comprobó que la empresa en mención sí cumplía las consideraciones presentadas en el enfoque y esencia de la hoja de ruta.

Para la implementación del robot en la partida de instalación de drywall, se consideró el inicio de un proyecto dentro de la empresa llamado **“Implementación de un robot en la partida de instalación de drywall”**. Este proyecto estuvo alineado con la estrategia organizacional de la empresa en mención.

6.4.2 Medición de la hoja de ruta

Se definieron las métricas para medir de manera precisa los resultados alcanzados. Estas métricas se representaron a través de los “impulsores”, los cuales permitieron evaluar el logro de los objetivos. Cabe precisar que las métricas fueron específicas para la partida de instalación de drywall.

6.4.3 Adaptación de la hoja de ruta

Según lo señalado en la hoja de ruta, se adaptó la propuesta a los procesos internos de la empresa en mención, a sus sistemas y objetivos organizacionales. Además, fue necesario alinear el proyecto de implementación con el sistema de gestión de innovación. De esta forma, se garantizó que la implementación de esta nueva tecnología se adhiera de manera exitosa a sus prácticas y estructuras existentes.

6.5 Aplicación de la hoja de ruta en la partida de instalación de drywall

6.5.1 Principios

Como primer paso de la implementación del robot, se hizo la corroboración del cumplimiento de los principios y de cómo la empresa los aplica dentro de sus proyectos.

- Fomentar una cultura innovadora y marco regulatorio proactivo

La empresa promueve una cultura de innovación al buscar constantemente nuevas tecnologías y métodos para mejorar sus procesos constructivos. Además, mantiene un marco regulatorio proactivo al estar al tanto y cumplir con las normativas y regulaciones vigentes en el sector de la construcción, lo que le permite adaptarse rápidamente a los cambios normativos y garantizar la legalidad y calidad de sus proyectos.

- Adoptar una visión estratégica a largo plazo
La empresa planifica sus proyectos de construcción de multifamiliares con una visión estratégica a largo plazo. Esto se refleja en su enfoque hacia la sostenibilidad y la eficiencia energética, considerando no solo las necesidades actuales, sino también las futuras tendencias del mercado y las exigencias ambientales.
- Promover la adaptabilidad y colaboración
La empresa fomenta la adaptabilidad y la colaboración en sus proyectos. La empresa destaca por la capacidad de sus equipos para adaptarse a cambios en el entorno operativo y trabajar de manera colaborativa, tanto dentro de la organización como con otros actores clave en la industria de la construcción, lo que garantiza un enfoque integrado y eficaz en sus proyectos.
- Optimizar las condiciones de operación
La empresa se esfuerza por optimizar las condiciones de operación en sus proyectos de construcción. Busca constantemente la eficiencia y la mejora continua en sus procesos, asegurando que sus proyectos se ejecuten de manera eficaz y rentable, al tiempo que se cumplen los más altos estándares de calidad y seguridad.

6.5.2 Impulsores

Como segundo paso de la implementación del robot, se definieron las métricas de éxito del proyecto “Implementación de un robot en la partida de instalación de drywall”.

A continuación, se muestran las métricas según la categoría de impulsor:

- Incremento de competitividad y satisfacción del cliente
 - Número de reclamaciones o quejas de las clientes relacionadas con la instalación de drywall, antes y después de la implementación del robot.
- Optimización de costos y productividad de procesos constructivos
 - Porcentaje de reducción en el tiempo de instalación de drywall.
 - Porcentaje de reducción en los costos de mano de obra asociados a la instalación de drywall.
- Entorno laboral saludable y seguro

- Porcentaje de reducción en accidentes laborales durante la instalación de drywall.
- Índice de satisfacción de los trabajadores con respecto a la seguridad y salud en el trabajo.
- Interacción tecnológica en procesos constructivos
 - Número de problemas detectados y resueltos gracias a la tecnología utilizada.

6.5.3 Fase 1: Revisión del contexto organizacional de la empresa

A continuación, se aplicaron los procesos descritos en la fase 1 de la hoja de ruta para la evaluación del contexto organizacional de la empresa para la implementación de un robot.

Proceso F1.1: Revisar el estatus de la empresa

Este proceso tiene como objetivo comprender el contexto operativo y estratégico de la empresa, incluyendo su misión, visión, estructura organizativa y cultura, para determinar su capacidad para implementar tecnología robótica. Al ser una simulación de la aplicación de la hoja de ruta, lo que se tendría que hacer es revisar la documentación compartida por los representantes de la empresa la cual será útil para realizar el análisis FODA (ver Tabla 54). También, se debería entrevistar a algunos representantes de la empresa para recopilar información clave sobre la estructura de la organización.

Tabla 54. Matriz del Análisis FODA para el caso de estudio

Fortalezas	Oportunidades
• Cultura de innovación marcada: La empresa promueve una cultura de innovación entre sus colaboradores, lo que facilita la adopción de nuevas tecnologías como la robótica. • Estructura Organizativa clara: La empresa tiene una estructura organizativa que permite una mejor comprensión de roles y responsabilidades, facilitando la implementación de nuevas tecnologías. • Sólido Sistema de Gestión de Innovación: La empresa cuenta con políticas y procedimientos efectivos para la gestión de la innovación, brindando soporte adecuado para proyectos tecnológicos. • Valores empresariales: La empresa practica valores como la colaboración, la mejora continua y la transparencia, que son esenciales para la integración de nuevas tecnologías.	• Avances tecnológicos en el sector de la construcción: La rápida evolución de la tecnología en el sector de la construcción ofrece oportunidades para adoptar soluciones innovadoras que mejoren la eficiencia y productividad. • Disponibilidad de fondos y subsidios: Existen fondos y subsidios destinados a apoyar proyectos de innovación tecnológica que la empresa puede aprovechar. • Creciente demanda de viviendas Multifamiliares: La demanda creciente de viviendas multifamiliares en Lima puede justificar inversiones en tecnologías que mejoren la competitividad y eficiencia. • Reducción de costos a largo plazo: La implementación de robots en procesos constructivos puede reducir costos operativos y mejorar la calidad, ofreciendo una ventaja competitiva de largo plazo.
Debilidades	Amenazas
• Falta de experiencia en implementación de robótica: La empresa puede carecer de experiencia previa en la implementación de robots, lo que podría representar un desafío en la fase inicial del proyecto. • Resistencia al cambio: Algunos colaboradores podrían mostrar resistencia al cambio y a la adopción de nuevas tecnologías, lo que podría dificultar la implementación. • Limitaciones presupuestarias iniciales: La inversión inicial en tecnología robótica puede ser elevada, y la empresa podría enfrentar restricciones presupuestarias en las etapas iniciales. • Dependencia de proveedores externos: La empresa puede depender de proveedores externos para la adquisición de robots y tecnologías.	• Riesgos de integración tecnológica: La integración de tecnología robótica puede presentar riesgos técnicos y operativos que deben ser gestionados adecuadamente. • Mercado resistente al cambio: Ciertos agentes del mercado pueden presentar resistencia al uso de la tecnología. • Competencia tecnológica: La competencia en el sector de la construcción puede aumentar con otras empresas adoptando tecnologías similares, lo que puede reducir la ventaja competitiva. • Cambios regulatorios: La introducción de variaciones en las normativas del sector de la construcción pueden afectar la viabilidad y cumplimiento del proyecto de implementación de robots.

relacionadas, lo que puede afectar la autonomía y control del proyecto.	• Impacto económico y financiero: Fluctuaciones económicas y financieras pueden impactar la disponibilidad de recursos para la implementación del proyecto.
---	---

Fuente: Elaboración propia

Entre los principales hallazgos, se destacó la sólida cultura de innovación y la estructura organizativa clara como fortalezas, y la falta de experiencia previa en robótica como una debilidad significativa. Además, se identificaron oportunidades como la creciente demanda de viviendas multifamiliares y la disponibilidad de fondos para proyectos de innovación tecnológica. También, se destacó la principal amenaza como la fluctuación financiera de la empresa que puede impactar la disponibilidad de recursos para la implementación del proyecto.

Proceso F1.2. Revisar el estatus de proyectos

Se inició con la recopilación de varias entradas esenciales para comprender el estado actual de los proyectos y las tecnologías utilizadas. Se revisaron los registros de información de los proyectos actuales de la empresa, lo cual fue útil para comprender los proyectos en curso y sus características específicas, así como el uso del sistema drywall en sus proyectos. Además, los registros de lecciones aprendidas de proyectos anteriores fueron fundamentales, ya que estos documentos resumieron valiosos conocimientos y experiencias adquiridas, ayudando a evitar errores pasados y replicar éxitos.

También, se hizo una revisión de las tecnologías actualmente utilizadas en los proyectos, evaluando su efectividad y señalando posibles áreas de mejora. Además, se llevaron a cabo entrevistas con los gerentes de proyectos de la empresa para obtener información detallada y contextual sobre los proyectos actuales directamente de quienes los gestionan. Como resultado de este proceso, se elaboró la Tabla 55 que resume el estado de los proyectos, las tecnologías utilizadas y las lecciones aprendidas, proporcionando una visión clara y actualizada de los proyectos que desarrolla la empresa.

Tabla 55. Resumen de proyectos actuales de la empresa

Proyecto	Estado del Proyecto	Tecnologías Utilizadas	Lecciones Aprendidas
Proyecto A	En ejecución	Software de gestión de proyectos (MS Project).	La integración temprana de subcontratistas mejora la coordinación. Es esencial realizar una capacitación adecuada sobre el uso del sistema drywall.
Proyecto B	Finalizado	Herramientas de planificación BIM.	La planificación detallada con BIM reduce los errores en la fase de construcción. La retroalimentación constante del equipo ayuda a identificar problemas potenciales rápidamente.
Proyecto C	En ejecución	Drones para monitoreo de obra.	El uso de drones para monitoreo incrementa la precisión en el seguimiento del progreso. Es crucial tener permisos adecuados para el uso de drones en áreas urbanas.
Proyecto D	Finalizado	Impresoras 3D para creación de prototipos.	Las impresoras 3D permiten una rápida visualización de cambios de diseño. La evaluación constante de los prototipos mejora la toma de decisiones en diseño.

Fuente: Elaboración propia

Este análisis identificó diversas oportunidades de mejora donde la tecnología podría mejorar la eficiencia de los proyectos multifamiliares. Cabe precisar que todos los proyectos antes mencionados son multifamiliares, donde se utilizó el sistema drywall.

Proceso F1.3. Revisar influencias de la empresa

Para el caso de estudio, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de las influencias internas y externas que podrían impactar en los proyectos de construcción de la empresa y en la implementación de tecnología robótica. A continuación, se muestra la Tabla 56 donde se señalan los principales agentes de influencia interna y externa.

Tabla 56. Influencias internas y externas para el caso de estudio

Agentes de Influencia	Descripción
Internos	Dirección y alta gerencia: Liderazgo de la empresa que establece la visión y las estrategias.

	• Personal operativo: Empleados que ejecutan las tareas diarias y pueden verse afectados por los cambios tecnológicos. • Departamento de tecnología e innovación: Responsable de evaluar, implementar y mantener la tecnología en la empresa. • Departamento de adquisiciones: Encargado de la compra de materiales y equipos, clave para la integración de robots en la empresa. • Departamento de recursos humanos: Responsable de la gestión del talento y el desarrollo organizacional, aspectos importantes para la adopción de nuevas tecnologías.
Externos	• Proveedores de tecnología robótica: Empresas que suministran robots y equipos relacionados, así como aquellas que dan mantenimiento y suministran repuestos para el robot. • Proveedores de materiales y equipos: Suministradores de materiales de construcción y herramientas. • Clientes: Personas o entidades que contratan a la empresa para proyectos de construcción. • Competidores: Otras empresas del sector de la construcción que pueden influir en las decisiones y estrategias de la empresa. • Entidades regulatorias y gubernamentales: Instituciones que establecen normativas y regulaciones que afectan a la empresa y su capacidad para implementar tecnología robótica. • Condiciones económicas y políticas del país: Factores macroeconómicos y políticos que pueden afectar la viabilidad y el alcance de proyectos de construcción. • Avances tecnológicos en la industria de la construcción: Desarrollos tecnológicos en el sector que pueden influir en la adopción de tecnología robótica.

Fuente: Elaboración propia

Este proceso proporcionó una comprensión holística de las influencias que afectan a la empresa y estableció una base sólida sobre las consideraciones para tener en cuenta durante el proyecto de implementación del robot. Al finalizar este proceso, se da por culminada la Fase 1 de la Hoja de ruta. Al término de esta fase, la empresa tomó la decisión de implementar un robot para uno de sus proyectos multifamiliares. A continuación, se presentan los detalles sobre el proyecto en mención (ver Tabla 57).

Tabla 57. Características del proyecto multifamiliar para el caso de estudio

Característica	Descripción
----------------	-------------

Área Construida	El proyecto se ejecutó sobre un terreno de 217.25 m2 con un total de 1,209.4 m2 de área construida.
N° de pisos	8 pisos
Distribución del 1er piso	Ingreso vehicular hacia el semisótano Dos estacionamientos simples Ingreso peatonal principal Hall de ascensor y escalera Dos departamentos de dos dormitorios cada uno Cisternas
Distribución del 2do al 6to piso	Dos departamentos por piso de dos dormitorios cada uno Hall de ascensor y escalera
Distribución del 7mo al 8vo piso	Un departamento en los dos pisos Hall de ascensor y escalera hasta el séptimo nivel Cuarto de maquina y Tanque elevado. Piscina

Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Vista del proyecto multifamiliar



Fuente: Información extraída de los planos del proyecto multifamiliar

6.5.4 Fase 2: Evaluación integral de soluciones robóticas

A continuación, se aplicarán los procesos descritos en la fase 2 de la hoja de ruta para la evaluación de alternativas de robots para el proyecto multifamiliar en mención.

Proceso F2.1. Seleccionar el proceso constructivo

Se utilizó la información recopilada en los procesos de la Fase 1 y se realizó una evaluación exhaustiva para seleccionar el proceso que maximice los beneficios potenciales y se alinee con los objetivos estratégicos de la empresa en términos de innovación y competitividad. Para esta evaluación, se utilizó la herramienta “Análisis de Procesos”, la cual fue útil para evaluar la idoneidad de los procesos constructivos actuales, determinando cuál será útil para implementar un robot. A continuación, se muestra la Tabla 58 que resumió las cuatro opciones de procesos constructivos identificadas para la implementación de un robot.

Tabla 58. *Procesos constructivos donde se puede implementar un robot*

Código	Proceso Constructivo	Descripción del uso del robot
APL-01	Instalación de drywall	Robot que puede colocar paneles de drywall de manera precisa y eficiente. Este robot está diseñado para trabajar en espacios interiores y estar equipado con brazos articulados para levantar y sujetar los paneles de drywall.
APL-02	Pinturas interiores	Robot que se utiliza para aplicar pintura en superficies interiores, como paredes y techos. Robot equipado con sistemas de aplicadores que permiten la aplicación uniforme y controlada de la pintura.
APL-03	Pinturas exteriores	Robot que se utiliza para aplicar pintura en fachadas exteriores de manera rápida y uniforme. El robot se programa para seguir un patrón específico de aplicación, asegurando una cobertura uniforme en toda la superficie.

Fuente: Elaboración propia

También, se utilizó la Matriz de Decisiones, la cual permite comparar los procesos constructivos con base en criterios como la simplicidad del proceso, el potencial de

mejora, la alineación con los objetivos estratégicos de la empresa y la influencia del proceso constructivo sobre el presupuesto.

Para determinar la influencia del proceso constructivo sobre el presupuesto global del proyecto multifamiliar del caso de estudio, se determinó una aproximación de los costos asociados a cada uno de los procesos (ver Tabla 59). Se calculó el metrado con la información proporcionada por la empresa (planos y resumen de metrados). El precio por metro cuadrado del proceso constructivo se determinó utilizando la revista Costos 2024.

Tabla 59. Comparación de los costos asociados a los procesos constructivos

Proceso Constructivo	Metrado	Unidad	Precio por m^2	Monto
Instalación de drywall	1877.81	m^2	S/ 95.90	S/ 180,081.98
Pinturas Interiores	3158.34	m^2	S/ 8.87	S/ 28,014.48
Pinturas Exteriores	1656.44	m^2	S/ 15.01	S/ 24,863.12

Fuente: Elaboración propia

Además, la empresa debería organizar reuniones colaborativas con el equipo de proyecto y otros interesados clave para definir y evaluar de manera colaborativa los criterios y llegar a un consenso sobre el proceso constructivo más adecuado. Por ejemplo, en la Tabla 60 se realizó una simulación de los criterios y puntajes para la calificación de los procesos constructivos según la escala de Likert (del 1 al 5).

Tabla 60. Matriz de decisiones para el caso de estudio

Criterio	Peso	Instalación de drywall	Pinturas Interiores	Pinturas Exteriores
Simplicidad del Proceso	4	3	4	4
Potencial de Mejora	4	4	3	3
Alineación con Objetivos Estratégicos	5	5	4	3

Influencia sobre el presupuesto	5	5	1	1
Puntaje		4.33	2.94	2.67

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de este proceso, se seleccionó el proceso constructivo con mayor puntaje ponderado: Instalación de drywall. Este proceso se seleccionó tomando como referencia los criterios seleccionados y sus pesos relativos.

Proceso F2.2. Analizar el proceso constructivo seleccionado

Este proceso implicó un análisis detallado del proceso constructivo seleccionado para identificar las características específicas que debe tener el robot para completar las actividades de manera eficiente y efectiva. Para llevar a cabo este análisis, se analizó el proceso constructivo con el objetivo de definir las características que debe tener el robot para que se pueda integrar de manera satisfactoria a la partida de instalación de drywall (ver Tabla 61).

Tabla 61. Características del robot a utilizar para la partida de instalación de drywall

Característica	Descripción
Brazo robótico	El robot debe incluir una herramienta de elevación y fijación montada con una plataforma móvil. Además, debe contar con un taladro que permita perforar el panel de drywall y fijarlo a los montantes.
Navegación inteligente	El robot debe ser capaz de movilizarse alrededor de la zona de trabajo superando obstáculos e identificando personas en el sitio.
Visión detallada	El robot debe contar con una cámara a nivel milimétrico que le permita determinar la posición exacta de los paneles.
Batería de robot	El robot debe contar con batería propia que le proporcione movilidad autónoma sin la necesidad de enchufarse.
Requerimientos de espacio	El robot debe ser diseñado para que ingrese dentro de un piso, limitando su rango de movilidad dentro del área de trabajo.
Integración BIM	Es recomendable que el robot utilice información de un modelo BIM para ubicarse en el sitio y colocar los paneles de drywall en los montantes con su sistema de visión milimétrica.

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, al finalizar este proceso se obtuvo el registro de especificaciones del robot, que describe las características técnicas que debe cumplir para integrarse con éxito en el proceso constructivo de instalación de drywall.

Proceso F2.3. Analizar las alternativas disponibles de robots

Se realizó una evaluación exhaustiva de las alternativas de robots disponibles para la instalación de drywall en proyectos multifamiliares. Para ello, se revisó bibliografía actual sobre robots disponibles que hayan sido utilizados en proyectos pasados. A continuación, la Tabla 62 muestra dos alternativas de robots útiles para la instalación de drywall.

Tabla 62. Comparación de alternativas de robots

	Nombre del robot	
	HRP-5P	Build-R's robot
Organización	Instituto de Ciencia y Tecnología Industrial Avanzada de Japón	SynerLeap - Suecia
Descripción	Es un robot humanoide que puede realizar tareas básicas de construcción, incluida la instalación de paneles de drywall.	Es un robot autónomo de colocación de paneles de drywall que fue diseñado para trabajar de manera colaborativa con los carpinteros para automatizar esta tarea pesada y monótona.
Referencia	Zhang (2020)	Brosque et. al (2020)

Fuente: Elaboración propia

Luego, se utilizó una matriz de evaluación de robots (ver Tabla 63) para comparar de manera cualitativa las características anteriormente descritas. Se utilizó la escala de Likert (del 1 al 5) y se asignaron pesos diferentes para los criterios propuestos para la selección. Para la evaluación de los criterios, se utilizaron las características requeridas para que el robot pueda completar las tareas del proceso constructivo (Tabla 59). Cabe precisar que la comparativa se realizó de manera cualitativa sobre las especificaciones técnicas de cada uno de los robots.

Tabla 63. Matriz de evaluación de robots

Criterio	Descripción	Peso	HRP-5P	Build-R's robot
Brazo robótico	Capacidad del robot para incluir una herramienta de elevación y fijación en una plataforma móvil, además de un taladro para perforar y fijar paneles.	26.7%	5	5
Navegación inteligente	Habilidad del robot para moverse por la zona de trabajo superando obstáculos y detectando personas en el sitio.	20.0%	3	4
Visión detallada	Precisión de la cámara del robot para determinar la posición exacta de los paneles con visión milimétrica.	20.0%	3	3
Batería de robot	Autonomía del robot con una batería propia que elimina la necesidad de enchufarse para mantener la movilidad.	13.3%	3	4
Requerimientos de espacio	Diseño del robot para operar dentro de un piso específico, con un rango de movilidad limitado dentro del área de trabajo.	13.3%	4	4
Integración BIM	Capacidad del robot para utilizar información de modelos BIM para posicionarse y colocar paneles de drywall con precisión milimétrica.	6.7%	2	4
Total		100%	3.60 = 72%	4.07 = 81.4%

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de esta comparación, se seleccionaría el robot “Build-R's robot”, el cual obtuvo un puntaje de 4.07 en la escala de 1 al 5. De esta forma, el robot seleccionado será utilizado para el desarrollo de los procesos de las siguientes fases de la hoja de ruta. Cabe precisar que, según los resultados de la investigación de Brosque et al. (2020), el tiempo medio de colocación de un panel de drywall de tamaño normal (formato EE.UU: 900x270 mm) mediante el robot “Build-R's robot” es de 6,3 minutos medidos en el laboratorio. Por lo tanto, se puede estimar, la productividad como $25.93 \text{ min}/m^2$. Cabe precisar que según Brosque et al. (2020), el proceso que sigue el Build-R's robot requiere que la estructura de soporte (studwork) esté

terminada en el sitio antes de comenzar. Este proceso incluye cinco tareas principales: colocar el robot en la ubicación correcta en el sitio de trabajo. Luego, el robot recoge un panel de drywall de tamaño estándar (900x270 mm) y la asegura. Después, el robot lleva el panel de drywall a la ubicación donde será instalada. A continuación, el robot coloca el panel de drywall en la posición correcta y asegura el panel de drywall a los montantes. Por lo tanto, en un proyecto multifamiliar su aplicación se centra en muros interiores, mas no en techos.

6.5.5 Fase 3: Gestión de costos y preparación del sitio

A continuación, se aplicarán los procesos descritos en la fase 3 de la hoja de ruta para la implementación del Build-R's robot a la partida de instalación de drywall.

Proceso F3.1. Determinar el presupuesto

Para determinar el presupuesto del proyecto de implementación del robot Build-R, se calcularon los costos asociados a la implementación del robot. Se utilizó la estimación de costos y juicio de expertos para determinar el presupuesto del proyecto. Además, se estimaron los requerimientos de financiamiento del proyecto, incluyendo el cronograma de pagos necesario para asegurar un financiamiento adecuado.

Al momento de desarrollo de la presente tesis, el costo del robot ofrecido como un servicio, no estaba establecido, por lo que se realizó una aproximación del costo de hora máquina para el robot (CH), el cual fue calculado con la siguiente expresión:

$$CH = \text{Costo de posesión} + \text{Costo de operación} + \text{Costo estructura}$$

Para el caso de estudio del robot Build-R's Robot, se consideraron las siguientes variables.

- Costo bruto de adquisición del robot (Vax): \$ 120,000 [Valor promedio extraído de: (EVS, 2023)]
- Costo de importación del robot (incluye el arancel de importación 6%, costos de transporte 5% e IGV 18%): \$34,800
- Tipo de cambio: 3.75 (valor referencial)
- Costo total de adquisición del robot (Va): \$154,800 = S/ 580,500

- Vida útil (Vu): 17,000 horas (considerando 10 años, 250 días laborables al año, 8 horas diarias y un uso del 85% de las horas disponibles al año).
- Horas de trabajo al mes (Htm): 141.67 horas
- Valor residual del robot (Vr): S/174,150.00 (Considerando el 30% del costo de adquisición del robot)
- Tasa de interés anual (Tia): 10%

Cálculo del costo de posesión

Primero, se calculó la amortización (A) con la siguiente expresión:

$$A = \frac{Va - Vr}{Vu}$$

$$A = \frac{S/580,500.00 - S/174,150.00}{1700 \text{ hrs/año} \times 10 \text{ años}}$$

$$A = S/23.90 \text{ /hora}$$

Después, se calculó el interés que se debe pagar por el financiamiento para adquirir el robot. Se define R como el monto fijo por hora que contiene los valores de amortización e interés por hora. Se puede calcular con la siguiente expresión:

$$R = \frac{(Va - Vr) \times (Tim * (1 + Tim)^n)}{(1 + Tim)^n - 1}$$

Donde:

R: Monto fijo por hora que contiene los valores de amortización e interés por hora.

Va: Valor de adquisición del robot

Vr: Valuar residual del robot

Tim: Tasa de interés mensual

n: vida útil en meses

Reemplazando los valores, se obtiene:

$$R = \frac{(S/580,500.00 - S/174,150.00) \times (0.83\% * (1 + 0.83\%)^{60})}{(1 + 0.83\%)^{60} - 1}$$

$$R = S/5,369.95 \text{ /mes}$$

$$R = S/37.91 \text{ /hora}$$

Se calculó el costo de interés hora (I) como:

$$I = R - A$$

$$I = 37.91 - 23.90$$

$$I = S/14.01 / \text{hora}$$

Se consideró una tasa de seguro del 0.6% y se calculó el costo del seguro hora (S) como:

$$S = \frac{Va \times s\%}{12 \times Htm}$$

$$S = \frac{S/580,500.00 \times 0.6\%}{12 \times 141.67}$$

$$S = S/2.05 / \text{hora}$$

Luego, se calculó el costo de posesión como:

$$Cp = A + I + S$$

$$Cp = 23.90 + 14.01 + 2.05$$

$$\text{Costo de posesión} = Cp = S/39.95 / \text{hora}$$

Cálculo del costo de operación

Se aproximó el costo de operación (Co) como la suma de costo de energía, costo de mantenimiento, costo de operador, costo de capacitación, costo de instalación en obra y costos de calidad.

- Costo de energía eléctrica: un robot similar al utilizado consume en promedio 5 kW por hora. El costo de 1kW por hora es S/ 0.50.
Entonces, el costo-hora de energía eléctrica es: S/ 2.50 /hora.
- Costo de mantenimiento: incluye mantenimiento preventivo y correctivo como cambios de aceite, partes del robot o similares. Se estima como un monto anual de S/ 8,000 al año. Considerando que el robot trabaja 1700 horas en un año.
Entonces, el costo-hora de mantenimiento es: S/ 4.71 /hora.
- Costo de operador: considerando un especialista cuyo sueldo es de S/. 3,000 mensuales. Considerando los beneficios de ley, el costo del operador al año sería: S/ 42,000.

Entonces, el costo-hora del operador es: S/ 24.70 / hora.

- Costo de capacitación para el personal: se estima un costo de S/ 15,000, el cual será dividido para toda la vida útil del robot (10 años).

Entonces, el costo-hora de la capacitación es: S/ 0.88 /hora

- Costo de instalación en obra: incluye el transporte desde el almacén de la subcontratista hasta la obra, incluyendo también su instalación. Se consideró que al año se trabaje en 8 obras, y en cada una la instalación cuesta S/. 1,000.

Entonces, el costo-hora de instalación en obra es: S/ 4.71 /hora.

- Costos de calidad: hace referencia a los costos de reparación de defectos, el cual representa el 10% de los costos anteriores.

Entonces, sumando se obtiene que el costo de operación es:

$$Co = (2.50 + 4.71 + 24.70 + 0.88 + 4.71) * 110\%$$

$$\text{Costo de operación} = Co = S/41.25 / \text{hora}$$

Cálculo del costo de estructura

Son todos los costos asociados con la labor del personal indirecto de equipos y mantenimiento. El costo de estructura es un porcentaje del costo de posesión y operación. Se aproximó el costo de estructura (Ce) como:

$$Ce = 6\% \times (Cp + Co)$$

$$Ce = 6\% \times (39.95 + 41.25) / \text{hora}$$

$$Ce = S/4.87 / \text{hora}$$

Finalmente, el costo horario del robot (CH) es:

$$CH = \text{Costo de posesión} + \text{Costo de operación} + \text{Costo estructura}$$

$$CH = Cp + Co + Ce$$

$$CH = 39.95 + 41.25 + 4.87 / \text{hora}$$

$$CH = S/86.08 / \text{hora}$$

De esta forma se puede estimar el costo del robot ofrecido como un servicio por una contratista a la empresa que desarrolla proyectos multifamiliares. Asumiendo, una utilidad para la contratista del 20%, se puede calcular el costo hora venta del servicio (CHV) como:

$$CHV = S/86.08 \times 1.2 / \text{hora}$$

$$CHV = S/103.29 / \text{hora}$$

A partir de ello, la empresa que desarrolla el proyecto multifamiliar puede determinar el presupuesto para el proyecto de implementación del robot en el caso de estudio. Asumiendo que la empresa del caso de estudio desee contactar a una contratista para que les brinde el servicio de alquiler de robot y asesoramiento durante la implementación, se puede estimar el costo del servicio de alquiler del robot.

- Metrado de instalación de drywall para el caso de estudio: $1,877.81 \text{ m}^2$
- Productividad del robot: 25.93 min/m^2

$$\text{Tiempo de trabajo del robot (TTR)} = \frac{1877.81 \times 25.93}{60} \text{ hr}$$

$$\text{Tiempo de trabajo del robot (TTR)} = 811.53 \text{ hr}$$

Considerando que el robot trabajaría 173 horas al mes

$$\text{Tiempo de trabajo del robot (TTR)} = \frac{811.53 \text{ hr}}{173 \frac{\text{hr}}{\text{mes}}} = 4.69 \text{ meses}$$

Entonces, se requerirá que la contratista brinde a sus servicios durante poco menos de 5 meses a la empresa que desarrolla el proyecto multifamiliar. A partir de ello, se determinan los costos asociados a la prestación del servicio de la contratista (que incluye el alquiler del robot y acompañamiento con un especialista técnico).

$$\text{Costo del servicio} = CHV \times TTR$$

$$\text{Costo del servicio} = S/103.29 / \text{hr} \times 811.53 \text{ hr}$$

$$\text{Costo del servicio} = S/83,824.15$$

Entonces, la empresa que desarrolla el proyecto multifamiliar requiere una inversión de $S/83,824.15$ para implementar el robot y que complete la partida de instalación del drywall para todo el metrado del proyecto multifamiliar.

Además, se calculó cuál sería el costo de la mano de obra para realizar la instalación del drywall de forma convencional a través del Análisis de precios unitarios (ver Tabla 64). Se consideró un rendimiento de $17 \text{ m}^2/\text{día}$. El costo por metro cuadrado es de $S/30.36$.

Tabla 64. *Análisis de precios unitarios*

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Capataz	H-H	0.1	0.0471	S/21.15	S/1.00
Operario	H-H	2.5	1.1765	S/19.23	S/22.62
Peón	H-H	1	0.4706	S/14.33	S/6.74
Total					S/30.36

Fuente: Elaboración propia

Se consideró un rendimiento de 17 m^2 al día, equivalente a una productividad de 28.24 min/m^2 .

$$\text{Tiempo de trabajo de cuadrilla (TTC)} = \frac{1877.81 \times 28.24}{60} \text{ hr}$$

$$\text{Tiempo de trabajo de cuadrilla(TTC)} = 883.68 \text{ hr}$$

Considerando que la cuadrilla trabaja 173 horas al mes:

$$\text{Tiempo de trabajo de cuadrilla(TTC)} = 5.11 \text{ meses}$$

A partir de ello, se determinan los costos asociados a la mano de obra necesaria para completar la instalación del metrado

$$\text{Costo de mano de obra} = \text{Metrado (m}^2\text{)} \times \text{Costo de mano de obra/m}^2$$

$$\text{Costo de mano de obra} = 1877.81 \times 30.36$$

$$\text{Costo de mano de obra} = S/57,010.31$$

Entonces, la empresa que desarrolla el proyecto multifamiliar requiere una inversión de S/57,010.31 para que la mano de obra realice de forma convencional la instalación de drywall.

Se realizó una comparativa a nivel de mano de obra del costo total del proyecto de implementación del robot versus el costo convencional de la mano de obra para la ejecución de la partida de instalación de drywall (ver Tabla 65).

Tabla 65. *Comparación de costos de la partida de instalación de drywall para el caso de estudio*

Parámetro	Valor
Metrado	$1,877.81 \text{ m}^2$

Costo de mano de obra para la partida de instalación de drywall	S/ 57,010.31
Costo de ejecución con robot de partida de instalación de drywall	S/83,824.15
Variación del costo con respecto al costo de ejecución convencional	31.99%
Productividad del robot (min/m ²)	25.93 min/m ²
Productividad de cuadrilla (min/m ²)	28.24 min/m ²

Fuente: Elaboración propia

Esta comparativa de costos del proceso constructivo muestra que la ejecución convencional con mano de obra es más económica a comparación del costo de ejecución de la partida con el Buil-R's Robot. Sin embargo, el robot puede completar el metrado de la instalación de drywall en menor tiempo que la mano de obra convencional debido a que la productividad del robot es mayor. Además, el robot ofrece ventajas significativas como reducción de lesiones a largo plazo debido al levantamiento de pesados paneles de drywall, el cumplimiento de las métricas de calidad y la posibilidad de trabajar en turnos laborales superiores a las 7 horas diarias gracias al uso del robot (dependiendo de las normas municipales). Además, el Build-R's robot es capaz de obtener datos de control de la ejecución del proceso constructivo. De esta forma, se reduce el riesgo de disponer de información insuficiente y se puede estandarizar la generación de información del proyecto de construcción (Brosque et. al, 2020).

Proceso F3.2. Identificar riesgos

Para aplicar el proceso de identificación de riesgos, se utilizó la descripción del proceso constructivo seleccionado. Además, se revisó el Registro de Lecciones Aprendidas para extraer información sobre riesgos potenciales y estrategias de mitigación. Después, se realizaron reuniones de brainstorming con el equipo para identificar riesgos de manera colaborativa.

Además, se realizaron entrevistas con expertos y miembros del equipo para obtener información específica sobre riesgos no identificados previamente. Con toda esta información, se actualizó el Registro de Riesgos que incluyó la descripción del riesgo, probabilidad, impacto, nivel de riesgo, así como medidas de mitigación (ver Tabla 66).

Tabla 66. Riesgos identificados para la implementación del robot en la partida de instalación de drywall

Riesgos	Descripción	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo	Medidas de Mitigación
Falla técnica del robot	Fallas mecánicas o electrónicas del robot durante la operación.	Media	Alta	Alto	Mantenimiento preventivo regular. Contrato de soporte técnico con el proveedor. Capacitación del personal para resolver problemas técnicos menores.
Error en la programación del robot	Errores en el software del robot que pueden llevar a una instalación incorrecta de los paneles de drywall.	Baja	Alta	Medio	Pruebas exhaustivas del software antes de la implementación. Capacitación en programación y uso del robot. Actualizaciones regulares del software.
Interferencia con otros procesos	Interferencias del robot con otras actividades en el sitio de construcción.	Media	Media	Medio	Planificación y coordinación adecuada de las actividades en el sitio. Diseño de un cronograma que minimice interferencias. Comunicación efectiva con otros equipos.
Resistencia del personal	Resistencia del personal a adoptar la nueva tecnología robótica.	Alta	Media	Alto	Programas de formación y sensibilización. Involucrar al personal en el proceso de implementación. Comunicación abierta sobre los beneficios del robot.
Riesgos de seguridad en el trabajo	Riesgos de seguridad asociados con la operación del robot en el sitio de construcción.	Baja	Alta	Medio	Capacitación en seguridad para los operadores del robot. Implementación de medidas de seguridad y protocolos estrictos. Supervisión constante durante la operación.

Fuente: Elaboración propia

Proceso F3.3. Acondicionar el entorno de trabajo

Para acondicionar el entorno de trabajo para la instalación del robot Build-R en un proyecto multifamiliar en Lima, primero se revisó el Registro de Especificaciones del Robot (ver Tabla 67) para cumplir con los requisitos técnicos y logísticos necesarios para el funcionamiento del robot.

Tabla 67. *Tabla de registro de especificaciones del robot elegido*

Especificación	Detalle
Nombre del robot	Build-R
Organización	SynerLeap, Suecia
Descripción del robot	Robot autónomo de colocación de paneles de drywall
Requisitos constructivos	Se requiere cortar previamente los paneles de drywall con un tamaño uniforme debido a que el robot no puede cortar paneles de drywall.
Requisitos logísticos	Se requiere habilitar el entorno para que podamos transportar el robot por todos los niveles del proyecto multifamiliar. Espacio despejado para maniobras (3m x 3m), acceso a materiales de construcción, personal capacitado para supervisión.
Programación del robot	Se debe programar la precisión del robot para seguir las métricas definidas para la instalación de los paneles de drywall. Además, se debe programar el robot para que su sensor de profundidad proporcione una profundidad de atornillado uniforme.
Protocolos de instalación	Cumplimiento de normas de seguridad, instalación por técnicos certificados.
Productividad	Un sistema Build-r está pensado para alcanzar niveles de productividad comparables al ritmo de producción de unos 70 carpinteros.
Colaboración	Diseñado para trabajar junto con carpinteros.
Referencia	Build-r will bring robotics into the building constructions industry (2017). SynerLeap.

Fuente: Elaboración propia

Se implementó Protocolos de Seguridad para garantizar la seguridad de los trabajadores y del entorno durante el proceso de acondicionamiento (ver Tabla 68). Además, se emplearon herramientas del Sistema de Gestión de Calidad de la empresa para monitorear y asegurar la calidad de las actividades realizadas (ver Tabla 69).

Tabla 68. *Protocolos de seguridad para la implementación del robot “Build-R Robot”*

Protocolo de Seguridad	Descripción
Evaluación Inicial de Peligros	Realizar una evaluación de riesgos antes de comenzar la instalación para identificar posibles peligros.
Formación del Personal	Capacitar al personal en el manejo seguro del robot y en los procedimientos de emergencia.
Señalización y Delimitación	Colocar señalización adecuada y delimitar el área de trabajo para evitar el acceso no autorizado.
Uso de Equipos de Protección Personal	Asegurar que todos los trabajadores usen el equipo de protección personal (EPP) adecuado.
Inspección de Equipos	Realizar inspecciones regulares del robot y otros equipos utilizados para asegurar su buen funcionamiento.
Procedimientos de Emergencia	Establecer y comunicar procedimientos claros de emergencia y rutas de evacuación.
Monitoreo Continuo	Implementar sistemas de monitoreo continuo para detectar cualquier anomalía durante la operación de robot.
Revisión y Actualización de Protocolos	Revisar y actualizar regularmente los protocolos de seguridad en función de los cambios en el entorno de trabajo.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. *Tabla de herramientas del Sistema de Gestión de Calidad (SGC)*

Herramienta del SGC	Descripción
Listas de Verificación	Listas detalladas que aseguran que cada paso en la instalación de paneles de drywall por el robot se complete correctamente y según las especificaciones.
Control de Documentación	Gestión de documentos para asegurar que todas las especificaciones técnicas y procedimientos de instalación del robot Build-R estén actualizados y accesibles.
Auditorías Internas	Evaluaciones periódicas para verificar que la instalación de los paneles de drywall se realice según los estándares de calidad y que el robot Build-R funcione correctamente.

Monitoreo de Procesos	Seguimiento continuo de la operación del robot Build-R durante la instalación para asegurar que se realice conforme a los planes de calidad establecidos.
Análisis de Datos	Recolección y análisis de datos sobre la eficiencia y precisión del robot Build-R en la instalación de los paneles de drywall para identificar áreas de mejora.
Capacitación Continua	Programas de formación para el personal en los procedimientos de calidad específicos para la instalación del drywall usando el robot Build-R.
Revisión por la Dirección	Evaluaciones regulares por parte de la dirección para asegurar que la implementación del robot Build-R y la instalación de los paneles cumplan con los objetivos de calidad.
Gestión de No Conformidades	Sistema para identificar, registrar y corregir desviaciones de los estándares de calidad durante la instalación de los paneles de drywall por el robot Build-R.

Fuente: Elaboración propia

Una vez completadas las acciones de acondicionamiento, se generó un Informe de Acondicionamiento (ver Tabla 70) que registró todas las actividades realizadas, incluyendo observaciones y resultados, garantizando que el sitio de trabajo esté adecuado y seguro para la instalación del robot, cumpliendo con los requisitos técnicos y de seguridad establecidos.

Tabla 70. Informe de acondicionamiento del robot Build-R

Informe de acondicionamiento
1. Introducción
Este informe documenta las actividades realizadas durante el acondicionamiento del entorno de trabajo para la instalación del robot Build-R, diseñado para la colocación autónoma de paneles de drywall. El acondicionamiento asegura que el sitio cumpla con todos los requisitos técnicos y de seguridad necesarios.
2. Descripción de Actividades Realizadas
• Evaluación Inicial del Sitio: Inspección del área de trabajo para identificar y mitigar riesgos potenciales. • Adecuación de Infraestructuras: ○ Instalación de fuentes de alimentación eléctrica adecuadas para recarga de batería del robot. ○ Implementación de una red de comunicación robusta para el control del robot.

- Medidas de Seguridad Implementadas:
 - Delimitación y señalización del área de trabajo.
 - Instalación de equipos de protección colectiva.
 - Capacitación del personal en protocolos de seguridad específicos para el uso del robot.
- Organización del Espacio:
 - Reubicación de materiales y equipos para optimizar el espacio de trabajo.
 - Establecimiento de zonas de almacenamiento para paneles de drywall.

3. Observaciones

- Seguridad: No se identificaron incidentes durante el acondicionamiento. Las medidas de seguridad implementadas fueron efectivas.
- Eficiencia: La adecuación de infraestructuras y organización del espacio permitió un flujo de trabajo óptimo.
- Capacitación: El personal demostró comprensión y cumplimiento de los protocolos de seguridad y uso del robot.

4. Resultados

- Cumplimiento de Requisitos Técnicos: Se acondicionó de forma exitosa el entorno para la operación del robot Build-R.
- Condiciones de Seguridad: El sitio de trabajo fue acondicionado para garantizar un entorno seguro para los trabajadores y el robot.
- Preparación del Personal: El personal recibió capacitación adecuada y está listo para operar y supervisar el robot.

5. Conclusión

El acondicionamiento del entorno de trabajo se completó con éxito, cumpliendo con todos los requisitos técnicos y de seguridad establecidos. El sitio está ahora adecuado y seguro para la instalación y operación del robot Build-R.

Fuente: Elaboración propia

6.5.6 Fase 4

A continuación, se aplicarán los procesos descritos en la fase 4 de la hoja de ruta para la implementación del Build-R's robot a la partida de instalación de drywall en el caso de estudio.

Proceso F4.1. Instalar el robot

Para instalar in-situ el robot Build-R en el sitio de construcción, se utilizó como entrada los siguientes elementos: la selección del robot óptimo (Build-R), y la descripción del

proceso constructivo seleccionado (instalación de drywall). El primer paso correspondió a la programación del robot (ver Tabla 71). Después, se verificó el correcto funcionamiento de los sistemas de gestión de calidad y protocolos de seguridad. De esta forma, se generaron las salidas del proceso: un reporte de instalación que detalló los procedimientos seguidos para la programación del robot e incidentes presentados, y una evaluación preliminar del rendimiento del robot, incluyendo métricas sobre su desempeño.

Tabla 71. Programación del Build.R robot

Pasos	Descripción	Responsable
1. Preparación del Robot	1.1 Posicionar el Robot: Ubicar el robot en la posición inicial adecuada para comenzar el trabajo.	Operador de Robot
	1.2 Inicialización del Sistema: Encender el robot y cargar el software de control.	Operador de Robot
	1.3 Verificación de Seguridad: Realizar chequeos de seguridad y calibraciones necesarias.	Operador de Robot
2. Configuración de Datos	2.1 Importación de modelo BIM: Importar los datos del modelo BIM del proyecto con detalles de las paredes y estructuras.	Equipo de Diseño BIM
	2.2 Integración de Datos Adicionales: Agregar detalles de montantes y soportes al modelo BIM.	Equipo de Diseño BIM
	2.3 Verificación de Datos: Verificar la precisión de los datos importados y realizar ajustes necesarios.	Equipo de Diseño BIM
3. Programación de Tareas	3.1 Definición de Trayectorias: Programar las trayectorias del robot para recoger, transportar y fijar los tableros.	Programador de Robot
	3.2 Secuencia de Instalación: Establecer la secuencia de instalación de los tableros en el software del robot.	Programador de Robot
	3.3 Prueba de Programación: Realizar pruebas de programación para asegurar el correcto funcionamiento del robot.	Operador de Robot
4. Ejecución en Sitio	4.1 Posicionamiento Inicial: Colocar el robot en la posición inicial para comenzar la instalación en el sitio.	Operador de Robot

	4.2 Inicio del Proceso de Instalación: Activar el robot para comenzar con el proceso de instalación según la programación establecida.	Operador de Robot
	4.3 Monitoreo Continuo: Supervisar el progreso del robot y realizar ajustes en tiempo real si es necesario.	Operador de Robot
5. Post-Operación	5.1 Reporte de Progreso: Generar y revisar el reporte de progreso automatizado del robot.	Operador de Robot
	5.2 Mantenimiento: Realizar tareas de mantenimiento para asegurar el funcionamiento continuo del robot.	Equipo de Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Proceso F4.2. Evaluar y cerrar el proyecto

En este último proceso, se emplearon herramientas como el análisis de datos para revisar la documentación del proyecto, entrevistas para obtener retroalimentación de los interesados, reuniones para discutir los logros e identificar lecciones aprendidas. Las salidas incluyeron el informe de cierre del proyecto, que resume los logros alcanzados, evalúa el cumplimiento de los objetivos y documenta lecciones aprendidas y recomendaciones.

La implementación de la hoja de ruta en el caso de estudio ha permitido evaluar de manera integral cada uno de los procesos necesarios para la implementación de robots en la partida de instalación de drywall en proyectos multifamiliares. A través de un enfoque sistemático y detallado, se identificó y superó las barreras iniciales, aprovechando al máximo los beneficios potenciales de la robótica. Este caso de estudio recalca la importancia de planificar con cautela y de iterar sobre las estrategias para asegurar el éxito en la adopción de nuevas tecnologías.

Conclusiones

La propuesta de hoja de ruta, basada en las barreras y beneficios de la implementación de robots, permitió orientar la implementación de un robot en la partida de instalación de drywall en un proyecto multifamiliar en Lima.

A través de una revisión de la literatura y entrevistas con expertos, se identificaron las principales barreras que dificultan la implementación de robots en proyectos multifamiliares en Lima. Estas barreras incluyeron costos iniciales elevados, resistencia al cambio por parte de los trabajadores y desafíos técnicos en la integración de la robótica con los métodos constructivos existentes. De esta manera, se cumplió con el primer objetivo específico y se validó la primera hipótesis específica. Se determinaron múltiples beneficios asociados con la implementación de robots en proyectos multifamiliares en Lima. Entre estos se destacan la reducción de errores humanos, el aumento de la precisión en la instalación de drywall y la mejora en la seguridad laboral. De esta manera, se cumplió con el segundo objetivo específico y se validó la segunda hipótesis específica.

Se desarrolló una hoja de ruta que incluye estrategias claras y específicas para superar las barreras identificadas y maximizar los beneficios de la robótica en la instalación de drywall. La hoja de ruta propone un enfoque iterativo y flexible, que permite adaptarse a las condiciones cambiantes del entorno constructivo y a las necesidades particulares de cada proyecto. De esta manera, se cumplió con el tercer objetivo específico y se validó la tercera hipótesis específica.

La validación de la hoja de ruta mediante su aplicación en un caso de estudio permitió confirmar la viabilidad y efectividad de las estrategias propuestas. Los resultados obtenidos demostraron que, al seguir la hoja de ruta, es posible implementar robots en la instalación de drywall de manera exitosa, logrando los beneficios esperados y superando las barreras identificadas. De esta manera, se cumplió con el cuarto objetivo específico y se validó la cuarta hipótesis específica.

Se logró desarrollar una hoja de ruta detallada y práctica para la implementación de robots en la instalación de drywall en edificaciones multifamiliares en Lima. Esta propuesta tomó en cuenta las condiciones y necesidades específicas del contexto local, facilitando una integración efectiva de la robótica en el proceso constructivo. De esta manera, se cumplió con el objetivo general y se validó la hipótesis general.

Recomendaciones

Se recomienda explorar estrategias para reducir el impacto de las barreras más significativas como la reducción del costo de adquisición del robot, explorar opciones de financiamiento externo, subvenciones o incentivos, así como explorar opciones para reducir los costos asociados con el servicio de la contratista que alquila robots, como asociaciones estratégicas que benefician a ambas partes.

Se recomienda realizar campañas de concientización que destaquen los beneficios identificados, como la reducción de errores humanos, el aumento de la precisión y la mejora en la seguridad laboral. También, se recomienda diseñar e implementar programas de capacitación y sensibilización dirigidos a los trabajadores y personal técnico sobre el uso de robots. Esto ayudará a consolidar el apoyo y la confianza en la implementación de robots en la construcción.

Se recomienda implementar la hoja de ruta de manera flexible y adaptable, permitiendo iteraciones según las condiciones cambiantes del entorno constructivo y las necesidades específicas de cada proyecto. Este enfoque iterativo garantizará la efectividad de las estrategias propuestas y la capacidad de ajustarse a desafíos imprevistos.

Se recomienda realizar evaluaciones periódicas y retrospectivas durante y después del uso de la hoja de ruta. Esta práctica permitirá identificar áreas de mejora, asegurando que las lecciones aprendidas se incorporen en futuros proyectos y que la aplicación de la hoja de ruta sea adecuada para la implementación del robot.

Se recomienda crear protocolos para la evaluación continua de los resultados de la implementación del robot, asegurando que se mantengan los beneficios y se realicen mejoras continuas.

Se recomienda a las empresas que deseen implementar robots en algún proceso constructivo de su proyecto multifamiliar que enfoquen sus esfuerzos en la integración de los robots con sus métodos constructivos actuales, mejorando los procesos existentes y asegurando una transición paulatina.

Se recomienda promover el uso de la metodología BIM para la adquisición de datos precisos del proyecto, facilitando la integración del robot y mejorando la calidad del trabajo.

Se recomienda que otras investigaciones aborden la evaluación de la rentabilidad de las operaciones de la contratista, así como el diseño de estrategias para que la contratista pueda ofrecer sus servicios a diferentes clientes en varios proyectos de construcción.

Referencias bibliográficas

- Abrishami, S., Goulding, J., & Rahimian, F. (2020). Generative BIM workspace for AEC conceptual design automation: prototype development. *Engineering Construction and Architectural Management*, 28(2), 482-509. <https://doi.org/10.1108/ecam-04-2020-0256>
- Afsari, K., Halder, S., Ensafi, M., & Serdakowski, J. (2021). Fundamentals and Prospects of Four-Legged Robot Application in Construction Progress Monitoring. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/353418227_Fundamentals_and_Prospects_of_Four-Legged_Robot_Application_in_Construction_Progress_Monitoring
- Aghimien, D., Ikuabe, M., Aghimien, L. M., Aigbavboa, C., Ngcobo, N., & Yankah, J. (2022). PLS-SEM assessment of the impediments of robotics and automation deployment for effective construction health and safety. *Journal Of Facilities Management*. <https://doi.org/10.1108/jfm-04-2022-0037>
- Almeyda, E. (2016). *Estudio de casos: análisis de los factores que influyeron en el desarrollo de innovaciones de proceso e innovaciones organizacionales en una empresa peruana líder en el sector ingeniería y construcción* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. ALICIA. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/CONC_cdec7a2f3449089806452e06cbf36d0e.
- Azman, N. S., Ramli, M. Z., Razman, R., Zawawi, M. H., Ismail, I. N., & Isa, M. R. (2019). Relative importance index (RII) in ranking of quality factors on industrialised building system (IBS) projects in Malaysia. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.5118037>
- Bademosi, F., & Issa, R. R. A. (2021). Factors Influencing Adoption and Integration of Construction Robotics and Automation Technology in the US. *Journal Of Construction Engineering and Management*, 147(8). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002103](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002103)
- Bou, M., & Nassereddine, H. (2020). Developing a framework for the implementation of robotics in construction enterprises. *EG-ICE 2020 Workshop on Intelligent Computing In Engineering*, 27.

- https://www.researchgate.net/publication/342814823_Developing_a_Framework_for_the_Implementation_of_Robotics_in_Construction_Enterprises
- Boya, A., Akinradewo, O., Aigbavboa, C., & Ramabodu, M. (2022). Implementation of automation and robotics: Benefits to the construction industry. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/363196463_Implementation_of_automation_and_robotics_Benefits_to_the_construction_industry
- Brosque, C., & Fischer, M. (2022). Safety, quality, schedule, and cost impacts of ten construction robots. *Construction Robotics*, 6(2), 163-186. <https://doi.org/10.1007/s41693-022-00072-5>
- Brosque, C., Skeie, G., Orn, J., Jacobson, J., Lau, T., & Fischer, M. (2020). Comparison of Construction Robots and Traditional Methods for Drilling, Drywall, and Layout Tasks. *2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications*. <https://doi.org/10.1109/hora49412.2020.9152871>
- Brown, J. (2009). Choosing the Right Number of Components or Factors in PCA and EFA. *JALT Testing & Evaluation SIG Newsletter*, 13(2), 19-23.
- Cai, S., Ma, Z., Skibniewski, M., Guo, J., & Yun, L. (2018). Application of Automation and Robotics Technology in High-Rise Building Construction: An Overview. *Proceedings Of The ISARC*. <https://doi.org/10.22260/isarc2018/0044>
- Carra, G., Argiolas, A., Bellissima, A., Niccolini, M., & Ragaglia, M. (2018). Robotics in the Construction Industry: State of the Art and Future Opportunities. *Proceedings Of The ISARC*. <https://doi.org/10.22260/isarc2018/0121>
- Carrera, D. (2006). *Proyecto inmobiliario de viviendas de interés social Alameda el Pinar 2da. etapa: sistema constructivo en seco (drywall)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. ALICIA. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_bb152494ca019e294798a811b7ac6fbe.
- Colegio de Ingenieros del Perú. (2024). Estadísticas de colegiados - Colegio de Ingenieros del Perú. <https://www.cip.org.pe/estadisticas-de-colegiados/>
- Delgado, J. M. D., Oyedele, L., Ajayi, A., Akanbi, L., Akinade, O., Bilal, M., & Owolabi, H. (2019). Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption. *Journal Of Building Engineering*, 26, 100868. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2019.100868>

- Ding, C. S., & Hershberger, S. L. (2002). Assessing Content Validity and Content Equivalence Using Structural Equation Modeling. *Structural Equation Modeling*, 9(2), 283-297. https://doi.org/10.1207/s15328007sem0902_7
- Dikmen, I., Talat, M., & Umut, S. (2005). Integrated Framework to Investigate Value Innovations. *Journal Of Management in Engineering*, 21(2), 81-90. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290742-597X%282005%2921%3A2%2881%29>
- Dritsas, S., & Soh, G. S. (2018). Building robotics design for construction. *Construction Robotics*, 3(1-4), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s41693-018-0010-1>
- EVS. (2023). Precio del brazo robótico industrial: ¿Cuánto cuesta un brazo robótico? EVS Robot. <https://www.evsint.com/es/industrial-robotic-arm-cost/>
- Fabian, R. (2021). *Modelo de aceptación y uso de innovaciones en proyectos de construcción* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. ALICIA. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RPUC_2a00acc590d302dbd550d867a9698370/Details.
- Fabrigar, L. R., Wegener, D. T., MacCallum, R. C., & Strahan, E. J. (1999). Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research. *Psychological Methods*, 4(3), 272-299. <https://doi.org/10.1037/1082-989x.4.3.272>
- Fiatech. (2004). Intelligent & Automated Construction Job Site. <http://fiatech.org/projects/roadmaps/jobsite.html>
- Fleming, E., Callaghan, N., & Craig, N. (2019, 4 septiembre). Robotics and automation as a solution to bridging the UK housing gap. *ResearchOnline*. <https://researchonline.gcu.ac.uk/en/publications/robotics-and-automation-as-a-solution-to-bridging-the-uk-housing->
- Galin, R., & Mamchenko, M. (2021). Human-Robot Collaboration in the Society of the Future: A Survey on the Challenges and the Barriers. *Communications in computer and information science*, 111-122. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1480-4_10
- Gharbia, M., Chang-Richards, A., Lu, Y., Zhong, R. Y., & Li, H. (2020). Robotic technologies for on-site building construction: A systematic review. *Journal Of Building Engineering*, 32, 101584. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101584>

- Hamui, A., & Varela, M. (2013). Focus groups technique: Metodología de Investigación. *Investigación en Educación Médica*, 2(5).
- Hatoum, M. B., & Nassereddine, H. (2020). Developing a Framework for the Implementation of Robotics in Construction Enterprises. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/342814823_Developing_a_Framework_for_the_Implementation_of_Robotics_in_Construction_Enterprises
- Hu, R., Iturralde, K., Linner, T., Zhao, C., Pan, W., Pracucci, A., & Bock, T. (2020). A Simple Framework for the Cost–Benefit Analysis of Single-Task Construction Robots Based on a Case Study of a Cable-Driven Facade Installation Robot. *Buildings*, 11(1), 8. <https://doi.org/10.3390/buildings11010008>
- Huamán, C. (2021). *Propuesta de una hoja de ruta para mejorar la implementación de lean construction en empresas del sector construcción* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorios Latinoamericanos. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/5296121>.
- International Business Machines. (2021). SPSS Statistics Subscription - early access. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/beta?topic=tests-kruskal-wallis-test>
- Jäkel, J., Rahnama, S., & Klemmt-Albert, K. (2022). Construction Robotics Excellence Model: A framework to overcome existing barriers for the implementation of robotics in the construction industry. *Proceedings Of The ISARC*. <https://doi.org/10.22260/isarc2022/0085>
- John, B., Adekunle, S. A., & Aigbavboa, C. (2022). Construction Industry and The Fourth Industrial Revolution: The Key Impediments In Developing Countries. *Proceedings Of International Structural Engineering and Construction*, 9(1). [https://doi.org/10.14455/10.14455/isecon.2022.9\(1\).con-29](https://doi.org/10.14455/10.14455/isecon.2022.9(1).con-29)
- Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies. *Automation In Construction*, 13(1), 5-19. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2003.08.012>
- Kumar, V., Prasanthi, I., & Leena, A. (2008). Robotics and Automation in Construction Industry. *AEI 2008: Building Integration Solutions*. [https://doi.org/10.1061/41002\(328\)3](https://doi.org/10.1061/41002(328)3)
- Law, K. K., Chang, S., & Siu, M. F. (2022). Factors Influencing Adoption of Construction Robotics in Hong Kong's Industry: A Multistakeholder

- Perspective. *Journal Of Management in Engineering*, 38(2).
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0001011](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0001011)
- Liang, C., Wang, X., Kamat, V. R., & Menassa, C. C. (2021). Human–Robot Collaboration in Construction: Classification and Research Trends. *Journal Of Construction Engineering and Management*, 147(10).
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002154](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002154)
- Maceli, S. (2017). *Innovación en el sector de la construcción del Perú: estado actual y diagnóstico* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. RiuNet UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/78144>.
- Mahbub, N. R. (2012). Readiness of a Developing Nation in Implementing Automation and Robotics Technologies in Construction: A Case Study of Malaysia. *Journal Of Civil Engineering and Architecture/Tu Mu Gong Cheng Yu Jian Zhu*, 6(7).
<https://doi.org/10.17265/1934-7359/2012.07.008>
- Mahbub, R. (2015). Framework on the Barriers to the Implementation of Automation and Robotics in the Construction industry. *International Journal Of Innovation In Management*, 3(1), 21-36.
- Mahbub, R., & Humphreys, M. (1998). An investigation into the barriers to automation and robotics in construction.
https://www.researchgate.net/publication/27481902_An_Investigation_into_the_Barriers_to_Automation_and_Robotics_in_Construction
- Medina-León, A., Nogueira-Rivera, D., Hernández-Nariño, A., & Díaz-Navarro, Y. (2012). Consideraciones y criterios para la selección de procesos para la mejora: Procesos Diana. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59362012000300007&script=sci_abstract
- Meuser, M., & Nagel, U. (2009). The Expert Interview and Changes in Knowledge Production. *Palgrave Macmillan UK eBooks*, 17-42.
https://doi.org/10.1057/9780230244276_2
- Miguel, C. R., & Caridad, M. C. M. (2012). Perfeccionamiento de un instrumento para la selección de expertos en las investigaciones educativas.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412012000200012
- Momeni, M., Relefors, J., Khatry, A., Pettersson, L., Papadopoulos, A. V., & Nolte, T. (2022). Automated fabrication of reinforcement cages using a robotized

- production cell. *Automation In Construction*, 133, 103990. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103990>
- Nepal, M. (2013). Knowledge inquiry in the construction management domain through structured research process and methodology. (2013). *Proceedings Of The 38th Australasian Universities Building Education Association (AUBEA) Conference*, 1-11. <https://eprints.qut.edu.au/64126/>
- Ojha, A., Habibnezhad, M., Jebelli, H., & Leicht, R. (2022). Barrier Analysis of Effective Implementation of Robotics in the Construction Industry. *Construction Research Congress 2022*. <https://doi.org/10.1061/9780784483961.069>
- Oke, A. E., Kineber, A. F., Albukhari, I., & Dada, A. J. (2021). Modeling the robotics implementation barriers for construction projects in developing countries. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 42(3), 386-409. <https://doi.org/10.1108/ijbpa-06-2021-0093>
- Oviedo, H. C., & Campo-Arias, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74502005000400009
- Pan, M., Linner, T., Pan, W., Cheng, H., & Bock, T. (2020). Structuring the context for construction robot development through integrated scenario approach. *Automation In Construction*, 114, 103174. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103174>
- Pan, M., & Pan, W. (2018). Determinants of Adoption of Robotics in Precast Concrete Production for Buildings. *Journal Of Management in Engineering*, 35(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000706](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000706)
- Pasco, R. (2006). *Propuesta para la implementación de un sistema de soldadura por robot en una empresa metalmecánica peruana* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/14335>.
- Pellicer, E., Yepes, V., Correa, C. L., & Alarcón, L. F. (2014). Modelo para la Innovación Sistemática en Empresas Constructoras. *Journal Of Construction Engineering and Management*, 140(4). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000468](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000468)

- Polastri, B. (2020). *Aplicación de los robots en el sector servicios* [Tesis de pregrado, Universidad de Lima]. Repositorio UNI. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/12126>.
- Pradhananga, P., ElZomor, M., & Kasabdj, G. S. (2021). Identifying the Challenges to Adopting Robotics in the US Construction Industry. *Journal Of Construction Engineering and Management*, 147(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002007](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002007)
- Razkenari, M., Fenner, A., Shojaei, A., Hakim, H., & Kibert, C. (2020). Perceptions of offsite construction in the United States: An investigation of current practices. *Journal Of Building Engineering*, 29, 101138. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101138>
- Realia. (2023b, noviembre 21). ¿Qué es una vivienda multifamiliar? <https://www.realia.es/inmopedia/que-es-vivienda-multifamiliar#:~:text=Una%20vivienda%20multifamiliar%20es%20aquella,el%20terreno%20como%20bien%20com%C3%BAAn.>
- Rendón-Macías, M. E., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). Estadística descriptiva. *Revista Alergia México*, 63(4), 397-407. <https://doi.org/10.29262/ram.v63i4.230>
- Rodríguez-Rodríguez, J., & Reguant-Álvarez, M. (2020). Calcular la fiabilidad de un cuestionario o escala mediante el SPSS: el coeficiente alfa de Cronbach. *Revista D'innovació I Recerca En Educació*, 13(2). <https://doi.org/10.1344/reire2020.13.230048>
- Seaden, G., & Manseau, A. (2001). Public policy and construction innovation. *Building Research and Information/Building Research & Information*, 29(3), 182-196. <https://doi.org/10.1080/09613210010027701>
- Sexton, M., & Barrett, P. (2003). A literature synthesis of innovation in small construction firms: insights, ambiguities and questions. *Construction Management & Economics*, 21(6), 613-622. <https://doi.org/10.1080/0144619032000134147>
- Skaar, B. S., Stevik, T. K., & Johansen, A. (2022). Barriers for pipe renewal – a comprehensive study. *Urban Water Journal*, 20(2), 248-259. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2022.2156891>.

- Stewart, R., Mohamed, S., & Marosszeky, M. (2004). An empirical investigation into the link between information technology implementation barriers and coping strategies in the Australian construction industry. *Construction Innovation*, 4(3), 155-171. <https://doi.org/10.1108/14714170410815079>.
- Strukova, Z. & Liska, M. (2012). Application of automation and robotics in construction work execution. (2012). *Journal Of Interdisciplinary Research*, 121-125.
- Suarez, L. (2022, 28 febrero). Drywall: Un sistema de construcción flexible que continúa siendo tendencia en nuestro país. Peru Construye. <https://peruconstruye.net/2022/02/28/drywall-un-sistema-de-construccion-flexible-que-continua-siendo-tendencia-en-nuestro-pais/>
- Utkin, L. V. (2006). A method for processing the unreliable expert judgments about parameters of probability distributions. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 385-398. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.04.041>
- Warszawski, A., & Navon, R. (1998). Implementation of Robotics in Building: Current Status and Future Prospects. *Journal Of Construction Engineering and Management*, 124(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:1\(31\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:1(31))
- Watkins, M. W. (2018). Exploratory Factor Analysis: A Guide to Best Practice. *Journal Of Black Psychology*, 44(3), 219-246. <https://doi.org/10.1177/0095798418771807>
- Yahya, M. y. B., Hui, Y. L., Yassin, A. B. M., Omar, R., Robin, R. o. A., & Kasim, N. (2019). The Challenges of the Implementation of Construction Robotics Technologies in the Construction. *MATEC Web Of Conferences*, 266, 05012. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201926605012>
- Zhang, S. (2020). Robotic Worker in Construction Industry. *Advances In Robotics & Mechanical Engineering*, 2(5). <https://doi.org/10.32474/arme.2020.02.000149>

Índice de anexos

I.	Anexo A: Modelo de entrevista para juicio de expertos para validación de barreras y beneficios.....	(162)
II.	Anexo B: Encuesta.....	(169)
III.	Anexo C: Modelo de entrevista para juicio de expertos para validación de propuesta de hoja de ruta.....	(177)
IV.	Anexo D: Bases de datos de participantes de la investigación.....	(183)
V.	Anexo E: Bases de datos y archivos de trabajo SPSS V24.....	(191)

Anexos

Anexo A: Modelo de entrevista para juicio de expertos para validación de barreras y beneficios



INVESTIGACIÓN

**IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES
BARRERAS Y BENEFICIOS PARA LA
ADOPCIÓN DE ROBOTS EN
PROYECTOS MULTIFAMILIARES: CASO
PERUANO**

Tesis de pregrado



AGENDA



- 1.Introducción
- 2.Datos generales
- 3.Validación de barreras y beneficios
- 4.Comentarios finales



Factors and Benefits Influencing Adoption of Construction Robotics in Lima's Industry



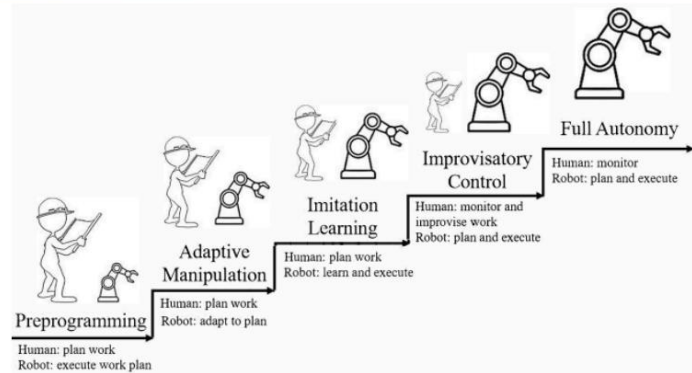
1. INTRODUCCIÓN



Engineering
Accreditation
Commission

Se han desarrollado robots de construcción con distintas funciones que varían de acuerdo con las necesidades humanas.

Los robots pueden realizar actividades repetitivas como la colocación de ladrillos, prefabricación, creación de modelos, armado de acero de refuerzo y demolición.



* Pan et.al. 2021.Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103517>

* Liang et.al. 2021.Human-Robot Collaboration in Construction: Classification and Research Trends. *ASCE Library*. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002154

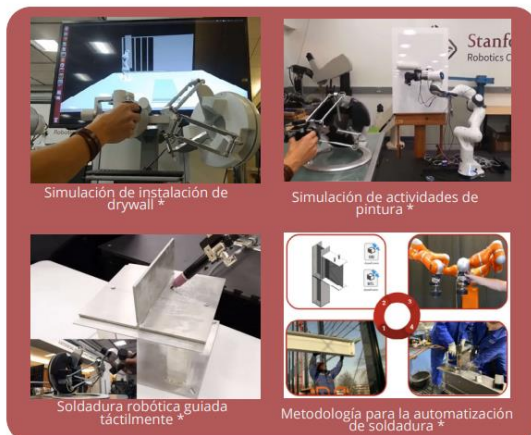
Factors and Benefits Influencing Adoption of Construction Robotics in Lima's Industry



1. INTRODUCCIÓN



Engineering
Accreditation
Commission



ATORNILLADO

1 Recoger datos de contexto y de producción

Productividad, duración de la actividad, número de trabajadores, entre otros.



4 Incorporar los comentarios del sector de la construcción para iterar el diseño

Mejora continua antes de probarlo en el hardware.

2 Generar escenas realistas para la simulación

Uso de modelos digitales a través de Revit.



3 Simular soluciones robotizadas en el entorno virtual



* Brosque, C., Galbally, E., Khatib, O. & Fischer, M. 2020. *Human-Robot Collaboration in Construction: Opportunities and Challenges*. 2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications. <https://doi.org/10.1109/HORA49412.2020.9152888>



2. DATOS GENERALES



Engineering
Accreditation
Commission

- Nombres y apellidos
- Profesión
- Grado académico
- Experiencia en docencia
- Años de experiencia como profesional
- Tipos de proyectos en los que participó, y en el que se desempeña actualmente
- Años de experiencia trabajando en edificaciones
- Tamaño de la empresa en las que trabajó, y la que trabaja actualmente
- Cargo que ocupa en su empresa
- Experiencia en robótica para la construcción



Factors and Benefits Influencing Adoption of Construction Robotics in Lima's Industry



3. VALIDACIÓN DE BARRERAS Y BENEFICIOS



Engineering
Accreditation
Commission

De acuerdo con la clasificación PESTLE, se identificó las siguientes categorías de **barreras y beneficios** que influyen en la implementación de la robótica en la industria de la construcción.



Factors and Benefits Influencing Adoption of Construction Robotics in Lima's Industry



3.1. ORGANIZACIONALES



Engineering
Accreditation
Commission

Barreras

- Débil cultura de innovación para la adopción de robots en los procesos constructivos.
- Falta de interés de la dirección de la empresa, debido a una visión a corto plazo de la industria de la construcción.
- Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción (daños a la propiedad, salud, vida).

Beneficios

- Mayor ventaja competitiva de las organizaciones debido al uso de tecnología.
- Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots.

Factors and Benefits Influencing Adoption of Construction Robotics in Lima's Industry



3.2. ECONÓMICAS



Engineering
Accreditation
Commission

Barreras

- Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación de robots.
- Percepción de altos costos de inversión, implementación, posesión y uso de robots en la construcción.
- Falta de un enfoque integral, que permita identificar y cuantificar los beneficios de la implementación de robots.

Beneficios

- Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos.
- Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.
- Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas.

Factors and Benefits Influencing Adoption of Construction Robotics in Lima's Industry



3.3 SOCIOCULTURALES



Engineering
Accreditation
Commission

Barreras

- Poca colaboración y desconfianza en la industria, para la implementación de robots en proyectos de construcción.
- Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados del proyecto para la adopción de robots.
- Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots en temas de seguridad, privacidad y desempleo por parte de los interesados del proyecto.

Beneficios

- Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de tareas peligrosas.

Factors and Benefits Influencing Adoption of Construction Robotics in Lima's Industry



3.4. TECNOLÓGICAS



Engineering
Accreditation
Commission

Barreras

- Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el almacenamiento de información generada por los robots.
- Funcionalidades y características limitadas de los robots
- Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos complejos y su instalación en el sitio de construcción podría ser complicada.

Beneficios

- Incremento de la precisión, eficiencia y velocidad en la ejecución de las tareas.
- Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada.
- Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información.

Factors and Benefits Influencing Adoption of Construction Robotics in Lima's Industry



3.5. DE CONSTRUCCIÓN



Engineering
Accreditation
Commission

Barreras

- Deficiente cadena de suministro para la adopción de robots.
- Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción entre humanos y robots.
- Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas de construcción actuales.

Beneficios

- Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas.
- Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción
- Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).

Factors and Benefits Influencing Adoption of Construction Robotics in Lima's Industry



4. COMENTARIOS FINALES



Engineering
Accreditation
Commission

¿Está de acuerdo con la agrupación inicial planteada?

¿Cuál es la percepción de la entrevista y qué se debería mejorar?

¿Qué recomendaciones a futuro daría para la presente investigación?



Factors and Benefits Influencing Adoption of Construction Robotics in Lima's Industry



INVESTIGACIÓN

Agradecemos el tiempo brindado para completar esta entrevista. Su experiencia brindada nos permitirá contribuir a la mejora de la productividad e implementación de nuevas tecnologías para la industria de la construcción en el Perú, con mejores resultados y beneficios para todos.

GRACIAS

Anexo B: Encuesta

Encuesta disponible en: <https://forms.gle/yXyW6Tj5ZsW74cLt5>



Identificación de potenciales barreras y beneficios para la adopción de robots en edificios: Caso peruano

Estimado participante:

La robótica ha emergido como una tecnología revolucionaria en el ámbito de la construcción a nivel global, y en el Perú no es la excepción. La implementación de robots en el sector de la construcción promete mejorar la eficiencia, la calidad y la seguridad de los edificios. Sin embargo, también se han identificado retos que impiden que su adopción sea masiva y se aproveche todo su potencial en nuestro país.

Su participación en esta encuesta es de vital importancia, ya que nos ayudará a comprender dichos retos específicos que enfrenta la adopción de la robótica en edificios en el contexto peruano. La presente encuesta forma parte de la investigación "Retos para la adopción de la robótica en edificios del Perú y propuesta de hoja de ruta" para la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. Los datos serán protegidos y usados confidencialmente con fines investigativos. Los resultados de todas las etapas de la investigación serán compartidos con usted a la dirección del correo que nos indique. La responsable del proyecto es Angela Gago Gamboa y puede ser contactada al correo angela.gago.g@uni.pe.

Agradecemos de antemano el tiempo que usted le dedique a responder esta encuesta. Le aseguramos que sus respuestas son valiosas y contribuirán a generar conocimiento para impulsar la adopción de la robótica en edificios en Perú.

angela.gago.g@gmail.com [Cambiar de cuenta](#)



No compartido

Consentimiento informado

Tenga en cuenta que su participación en este cuestionario no tiene ninguna recompensa material o económica y usted es libre de no participar o de retirarse cuando lo desee. Sus datos, opiniones y aportes a esta investigación se usarán exclusivamente para este proyecto y se guardarán de manera segura. Toda la información recolectada se tratará de manera confidencial y cualquier información que se haga pública será de manera anónima, agregada y sin posibilidad de que ningún participante sea identificado personalmente.

La encuesta dura aproximadamente 15 minutos. Agradecemos de antemano su colaboración y su tiempo. Al continuar con esta encuesta usted manifiesta que está de acuerdo con esta invitación con las condiciones informadas.

¿Autoriza la recopilación de sus datos personales con fines netamente investigativos? *

- ☒ Sí
- ☐ No

INFORMACIÓN PERSONAL

La información entregada será utilizada con propósitos de análisis estadístico, por lo que serán utilizados de manera confidencial y no serán compartidas.

Nombres y Apellidos *

Tu respuesta

Correo *

Tu respuesta

Ocupación *

- ☐ Ingeniero Civil
- ☐ Arquitecto
- ☐ Proveedor
- ☐ Trabajador del sector construcción
- ☐ Estudiante
- ☐ Otro: _____

INFORMACIÓN LABORAL Y PROFESIONAL

Años de experiencia profesional *

- ☐ 1 a 5 años
- ☐ 6 a 10 años
- ☐ 11 a 15 años
- ☐ 15 a 20 años
- ☐ Más de 20 años

Experiencia laboral trabajando en edificaciones *

- ☐ 0 a 5 años
- ☐ 6 a 10 años
- ☐ 11 a 15 años
- ☐ 15 a 20 años
- ☐ Más de 20 años

Rol que desempeña en su proyecto u organización *

- ☐ Ingeniero de costos, valorizaciones y afines
- ☐ Ingeniero de calidad, administración y afines
- ☐ Arquitecto de diseño, ingeniero de diseño u oficina técnica
- ☐ Ingeniero de planeamiento, producción o afines
- ☐ Residente de obra, supervisor de obra, asistente
- ☐ Propietario o representante del cliente
- ☐ Ingeniero o administrador de contratos y afines
- ☐ Maestro de obra, capataz, operario o afines
- ☐ Otro: _____

Rubro de su organización *

- ☐ Diseño y formulación de proyectos
- ☐ Construcción
- ☐ Mantenimiento y afines
- ☐ Proveedores
- ☐ Subcontratista
- ☐ Otro: _____

¿Cuál es el tipo de proyecto en el que usted labora con mayor frecuencia? *

- ☐ Edificaciones
- ☐ Infraestructura
- ☐ Minería
- ☐ Plantas industriales
- ☐ Otro: _____

Tamaño de su organización *

- ☐ 1 a 10 personas
- ☐ 10 a 50 personas
- ☐ 50 a 100 personas
- ☐ 100 a 250 personas
- ☐ Más de 250 personas

¿Qué tan difícil cree usted que sería adoptar la robótica en el Perú? *

- ☐ Muy difícil
- ☐ Difícil
- ☐ Moderado
- ☐ Fácil
- ☐ Aún desconozco o creo que no se puede implementar

PERCEPCIONES DE LA ROBÓTICA: POTENCIALES RETOS

Queremos evaluar la importancia de los potenciales retos para la adopción de robótica en el Perú. En tal sentido, le pedimos que indique el nivel de importancia que usted considera para los siguientes retos identificados.

Débil cultura de innovación para la adopción de robots en los procesos constructivos. *

	1	2	3	4	5	
No es importante	☐	☐	☐	☐	☐	Muy importante

Falta de interés de la dirección de la empresa, debido a una visión a corto plazo de la industria de la construcción. *

	1	2	3	4	5	
No es importante	☐	☐	☐	☐	☐	Muy importante

Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción (daños a la propiedad, salud, vida). *

	1	2	3	4	5	
No es importante	☐	☐	☐	☐	☐	Muy importante

PERCEPCIONES DE LA ROBÓTICA: BENEFICIOS

Queremos evaluar la importancia de los beneficios que se obtendrían de la adopción de robótica en el Perú. En tal sentido, le pedimos que indique el nivel de importancia que usted considera para los siguientes beneficios identificados.

Mayor ventaja competitiva de las organizaciones debido al uso de tecnología. *

1 2 3 4 5

No es importante ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy importante

Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots. *

1 2 3 4 5

No es importante ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy importante

Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos. *

1 2 3 4 5

No es importante ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy importante

Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad. *

1 2 3 4 5

No es importante ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy importante

ASPECTOS FINALES

Gracias por haber completado las secciones anteriores

¿Qué otros retos considera usted que existirían en la adopción de la robótica en edificaciones? *

Tu respuesta

¿Cuál considera usted el aspecto más importante para la adopción de la robótica en edificaciones? *

Tu respuesta

Le gustaría recibir los resultados de la encuesta y las siguientes investigaciones que tendrá este proyecto *

- ☐ Sí
- ☐ No

Si tiene sugerencias para mejorar la encuesta, agradecería que pueda indicarlo. *
Esta encuesta está sujeta a la mejora continua, por lo que su retroalimentación es importante.

Tu respuesta

Anexo C: Modelo de entrevista para juicio de expertos para validación de propuesta de hoja de ruta

0. INTRODUCCIÓN



- Se identificaron las principales barreras y beneficios de la implementación de robots en el sector construcción a través de revisión bibliográfica.
- Se realizó una validación de estas barreras y beneficios con 06 expertos.
- Se realizó una encuesta para medir la importancia de las barreras y beneficios según la percepción de 70 profesionales de ingeniería civil peruanos.
- Se realizó el Análisis Factorial Exploratorio y la prueba de Kruskal Wallis.
- Se propuso la hoja de ruta tomando en consideración las categorías de barreras y beneficios identificadas a partir del análisis estadístico.

0. INTRODUCCIÓN

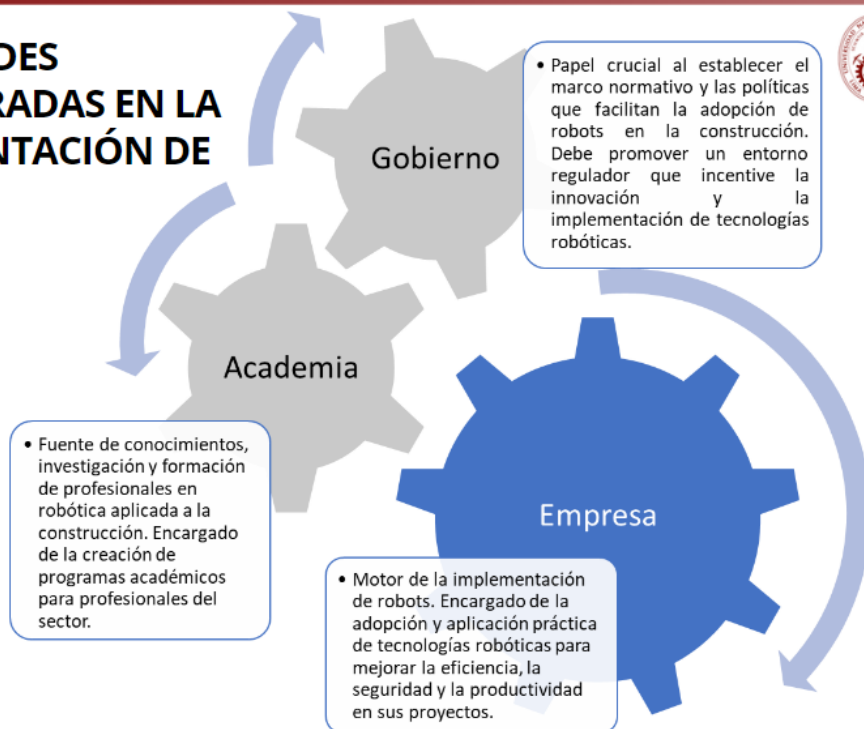


DATOS GENERALES

- Nombres y apellidos
- Años de experiencia como profesional
- Años de experiencia trabajando en proyectos multifamiliares
- Proyectos en los que participó
- Tamaño de empresa con las cuales trabajó



1. ENTIDADES INVOLUCRADAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
INGENIERIA

2. CONSIDERACIONES PARA EL USO DE LA HOJA DE RUTA DE IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
INGENIERIA

2.1. Enfoque

2.2. Esencia

2.3. Medición

2.4. Adaptación

2.5. Estructura

2.1. Enfoque

- Enfoque en medianas y grandes empresas del sector de la construcción
- Esta hoja de ruta aplica para empresas que fomentan una cultura de innovación dentro de sus colaboradores, promoviendo la exploración y la experimentación con soluciones tecnológicas.
- Esta hoja de ruta aplica a empresas que tengan políticas efectivas de medición y control de sus procesos constructivos.
- Esta hoja de ruta propone que asimilemos la adopción de esta tecnología como un proyecto de implementación.
- La empresa que desee emplear esta hoja de ruta para implementar un robot requiere contar con un sistema de gestión de innovación que brinde soporte al proyecto de implementación.

2. CONSIDERACIONES PARA EL USO DE LA HOJA DE RUTA DE IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
INGENIERÍA

2.1. Enfoque

2.2. Esencia

2.3. Medición

2.4. Adaptación

2.5. Estructura

2.2. Esencia

- La esencia de la hoja de ruta se fundamenta en cinco valores fundamentales para asegurar el éxito de la implementación de robots.



2. CONSIDERACIONES PARA EL USO DE LA HOJA DE RUTA DE IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
INGENIERÍA

2.1. Enfoque

2.2. Esencia

2.3. Medición

2.4. Adaptación

2.5. Estructura

2.3. Medición

- Para asegurar el éxito del proyecto de implementación, es crucial establecer métricas que permitan medir de manera precisa los resultados alcanzados.
- Esto implica definir los factores clave de éxito del proyecto de implementación de robots, los cuales deben estar alineados estrechamente con los objetivos estratégicos de la empresa.
- La propuesta de hoja de ruta incluye "Impulsores", los cuales contienen métricas que permitirán evaluar el logro de los objetivos.



2. CONSIDERACIONES PARA EL USO DE LA HOJA DE RUTA DE IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS



2.1. Enfoque

2.2. Esencia

2.3. Medición

2.4. Adaptación

2.5. Estructura

2.4. Adaptación

- La adaptación de la hoja de ruta se personalizará según las necesidades y características específicas de cada empresa.
- Se considerarán sus procesos internos, su sistema de gestión de innovación y sus objetivos organizacionales.
- El sistema de gestión de innovación debe acompañar la implementación de robots identificando oportunidades y evaluando su viabilidad técnica y estratégica.
- El sistema de gestión de innovación debe proporcionar el marco necesario para gestionar efectivamente la innovación dentro de la organización.



2. CONSIDERACIONES PARA EL USO DE LA HOJA DE RUTA DE IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS



2.1. Enfoque

2.2. Esencia

2.3. Medición

2.4. Adaptación

2.5. Estructura

2.5. Estructura

La hoja de ruta está estructurada en 4 principios, 4 impulsores y 4 fases (4P + 4I+ 4F = 4PIF), en adelante llamada "4PIF", los cuales se señalan a continuación:

- Principios: Permitirán abordar las barreras de implementación brindando lineamientos sobre el comportamiento de los miembros del equipo e interesados.
- Impulsores: Maximizarán los impactos positivos de los beneficios asociados a la implementación de robots y serán utilizados para definir las métricas de éxito del proyecto de implementación.
- Fases: Organizarán las actividades del proyecto de implementación, asegurando la realización efectiva de las tareas necesarias para alcanzar los objetivos planteados y garantizar la coherencia con los principios e impulsores.

3. HOJA DE RUTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS EN EMPRESAS DE CONSTRUCCIÓN

UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
INGENIERIA

3.1. Principios

3.2. Impulsores

3.3. Fases

3.3.1 Fase 1

3.3.2 Fase 2

3.3.3 Fase 3

3.3.4 Fase 4

3.3.5 Entradas y salidas

3.3.6 Herramientas

3.3.5 Descripción de entradas y salidas

A continuación, se muestra una tabla resumen con los documentos involucrados en todos los procesos de esta hoja de ruta, su descripción, así como su presencia ya sea como entradas o salidas.

Documentos	Nombre	Descripción	Presencia en procesos	
			Como entradas	Como salidas
DOC01	Documentación de la empresa	Incluye estatutos, informes financieros, informes de proyectos anteriores, políticas y procedimientos. Sirve como base para evaluar la estructura y el desempeño organizacional antes de iniciar el proyecto de implementación de un robot.	F1.1	
DOC02	Informe de análisis de mercado	Tendencias del mercado, competidores, demanda y oferta actual, empresas competidoras y nivel de uso de robots y automatización del mercado.	F1.1, F1.2	
DOC03	Manual de Organización y Funciones- Reglamento de Organización y funciones	Estructura organizacional, roles y responsabilidades del personal, capacidades técnicas y habilidades del equipo.	F1.1, F3.3	

3. HOJA DE RUTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS EN EMPRESAS DE CONSTRUCCIÓN

UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
INGENIERIA

3.1. Principios

3.2. Impulsores

3.3. Fases

3.3.1 Fase 1

3.3.2 Fase 2

3.3.3 Fase 3

3.3.4 Fase 4

3.3.5 Entradas y salidas

3.3.6 Herramientas

3.3.6 Descripción de herramientas

A continuación, se muestra una tabla resumen con las herramientas presentes en todos los procesos de esta hoja de ruta, su descripción, así como su presencia en los procesos.

Herramientas	Nombre	Descripción	Presencia en procesos
HERR_01	Análisis FODA	Para evaluar el entorno interno y externo de la empresa.	F1.1, F1.2, F1.3
HERR_02	Entrevistas	Para recopilar información y percepciones clave de los empleados y otras partes interesadas.	F1.1, F1.2, F1.3, F3.2, F4.2
HERR_03	Análisis financiero	Evaluar la situación financiera de la empresa y su capacidad para invertir en nuevas tecnologías.	F1.1
HERR_04	Evaluación de riesgos	Identificación y análisis de posibles riesgos y desafíos asociados con la implementación de robots in situ en los tipos de proyectos que maneja la empresa.	F1.2, F1.3, F2.2, F2.3
HERR_05	Benchmarking	Comparación de las prácticas y tecnologías utilizadas en proyectos similares en la industria para identificar oportunidades de mejora.	F1.2, F1.3, F2.2
HERR_06	Análisis de procesos	Evaluación de la idoneidad de los procesos constructivos en función de los recursos disponibles y la infraestructura existente.	F2.1

4. VALIDACIÓN DE LA HOJA DE RUTA



- ¿Considera que la hoja de ruta abarca todos los aspectos relevantes para la implementación de un robot en proyectos de construcción?
- ¿Cuáles cree que podrían ser las principales dificultades en el uso de la hoja de ruta?
- ¿Cuáles son las limitaciones que usted observa en la hoja de ruta plantada?
- En la escala del 1 al 5, por cada fase, ¿qué tanto ayuda esta hoja de ruta a la implementación de robots en proyectos de construcción?
- ¿Tiene algún comentario adicional o sugerencia para mejorar la hoja de ruta?



GRACIAS



Agradecemos el tiempo brindado para completar esta entrevista. Su experiencia brindada nos permitirá contribuir a la mejora de la productividad e implementación de nuevas tecnologías para la industria de la construcción en el Perú, con mejores resultados y beneficios para todos.



Anexo D: Bases de datos de participantes de la investigación**1) Profesionales que participaron durante la investigación**

N°	Nombres y Apellidos	Correo
1	Wilmer Cuya	wcuya2022@gmail.com
2	Andrews Alexander Erazo Rondinel	andrews.erazo.rondinel@gmail.com
3	Milton Jimmy Olortegui Saldaña	jolortegui@laventurosa.com
4	Ronny Bejar	ronny.bejar@gmail.com
5	Jaime Espinoza Rosado	jaesro@gmail.com
6	Finley Fermín Pozo Sedano	Fpozosedano@gmail.com
7	José Antonio Pintado Chumpitaz	Jpintadoc@uni.pe
8	Ronald Frank Mathew Alva de la Cruz	ralvad@uni.pe
9	LUIS DANIEL FIESTAS JACINTO	luisdaniel.fiestas@gmail.com
10	Ruddy Andreé Cashpa Capcha	rcashpac@uni.pe
11	Victor Cruz	ing.victorcruzb@gmail.com
12	Luis Gonzales	lcgonzaleso@gmail.com
13	Diego Gonzales	diegogonzales@consorcioperuhealth.com.pe
14	Gonzalo Torres Vega	frichtorres.ing@gmail.com
15	Leandro Guevara Sánchez	leandroags@gmail.com
16	Daniel G. Espinoza Gonzalez	despinozagonzalez@gmail.com
17	Oscar Miranda-Hospinal	omiranda@uni.edu.pe
18	andre ramirez	andre@sonder-hub.com
19	Jorge Gómez	jorgeg289260@gmail.com
20	Cristian Huaman Orosco	chuamano@uni.pe
21	Dilan Salazar Martinez	dsalazar0396@gmail.com
22	Dheivis Yury Jara Vilca	ing.djara@gmail.com
23	Leonardo Tapia	Leo.tapia1028@gmail.com
24	Thaists Meza Bure	thaists589@gmail.com
25	Luis Agüero	luismiguel.agueroo@gmail.com
26	Frank Arturo Ñahui Magallanes	Proyect_vida.frank@hotmail.com
27	Luis Antonio Rosas Martínez	ing.luisrosasmartinez@gmail.com
28	WALTER ESQUIVEL BOCANEGRA	ing.esquivelb@gmail.com
29	Jorge Rojas	jrojasr@uni.edu.pe
30	Antony Campos Vega	ajcamposv@uni.pe
31	Vania Morales Chuquimia	vamoralesch@gmail.com
32	Romell chayña yupanqui	romellrodrigo@gmail.com
33	Justo Enrique Cabrera Villa	jcabreravilla13@yahoo.com
34	Nicole Mera Incio	nicole.mera.incio@gmail.com
35	Guiller Olortegui Lucas	golorteguil@uni.pe
36	Giancarlo Gonzales Prado	giancarloconsorcioldvcsaceem@gmail.com
37	Janeth Saravia	saraviajaneth@gmail.com
38	Brando capdevila Salazar	brandocapdevila@gmail.com
39	Tonmy Richard Quezada Chávez	tonmyq@gmail.com
40	Jose Rengifo	Joao.rengifo30@gmail.com
41	Jhordan Santos Goycochea Marchena	jhordan29goycochea@gmail.com
42	Irving Arnold Gómez Morales	igomezma@uni.pe
43	Juan Carlos Ventocilla Alva	jcventocilla@gmail.com
44	Alex Condori Salluca	acondoris@uni.pe
45	Mercedes Neyra	mneyrap@gmail.com

N°	Nombres y Apellidos	Correo
46	Kevin Anthony Ortiz Galindo	kevin.ortiz.g@uni.pe
47	David Manrique Pacheco	davidmanpa@gmail.com
48	WILBER RIVERA MUNARRIZ	wriveram@outlook.com
49	Engel Espinoza Cuiro	Engel.espinozac@gmail.com
50	Alex Andree Velásquez Ortiz	andree.velasquez@outlook.es
51	javier farfán anticon	jfarfana@uni.pe
52	EDGAR FLORES PADILLA	obraingenieriacivil@gmail.com
53	Víctor Jesus Flores Anchante	vfloresa.89@gmail.com
54	Edward Cardenas Saldivar	ecsperu@hotmail.com
55	Christian Clemente	christian.clemente@pucp.edu.pe
56	Milagros Soriano	Milsory@hotmail.com
57	Diego Ricardo Alcántara Hurtado	diegoalcantarah@gmail.com
58	Rafael Cachay Huaman	rcachay@uni.edu.pe
59	Henry Galindo	hgalindo@galebim.com
60	Walter Roman	walterhugo_18@hotmail.com
61	Angel Vladimir Paredes Portales	aparedes@tscinnovation.com
62	Juan Javier Jugo Castro	juan.jugo94@gmail.com
63	Jorge Yensi Urbano Camones	jyensiuc0902@gmail.com
64	Omar Zegarra	ozegarra@uc.cl
65	Juan Aranda	adnart@gmail.com
66	Jose Mayta Tito	jose.maytat@gmail.com
67	Alexis Rodriguez Cabanillas	alexisrodriguezc@hotmail.com
68	Christian Cabrera Mendoza	linktr.ee/ccabreram
69	Jaime Valdivieso Herrera	Jgvh08@hotmail.com
70	J C Masias Guillen	jmasiasg@uni.edu.pe

La lista antes presentada incluye a todos los profesionales que participaron durante la investigación como juicio de expertos y encuestados.

2) Descripción de encuestados

ID	Rol que desempeña	Rubro de su organiz	Tipo de proyecto	Tamaño organización
X001	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Edificaciones	100 a 250 personas
X002	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Supervisión y consulto	Infraestructura	Más de 250 personas
X003	Otros	Construcción	Edificaciones	100 a 250 personas
X004	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Edificaciones	50 a 100 personas
X005	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Edificaciones	100 a 250 personas
X006	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Infraestructura	Más de 250 personas
X007	Arquitecto de diseño, ingeniero de diseño u oficina técnica	Proveedores	Edificaciones	50 a 100 personas
X008	Arquitecto de diseño, ingeniero de diseño u oficina técnica	Construcción	Edificaciones	100 a 250 personas
X009	Ingeniero o administrador de contratos y afines	Diseño y formulación c	Edificaciones	10 a 50 personas
X010	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Infraestructura	Más de 250 personas
X011	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Infraestructura	100 a 250 personas
X012	Ingeniero o administrador de contratos y afines	Construcción	Infraestructura	Más de 250 personas
X013	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Mantenimiento y afines	Infraestructura	Más de 250 personas
X014	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Edificaciones	50 a 100 personas
X015	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Infraestructura	Más de 250 personas
X016	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Edificaciones	Más de 250 personas
X017	Propietario o representante del cliente	Construcción	Plantas industriales	Más de 250 personas
X018	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Infraestructura	Más de 250 personas
X019	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Edificaciones	10 a 50 personas
X020	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Diseño y formulación c	Infraestructura	10 a 50 personas
X021	Ingeniero o administrador de contratos y afines	Diseño y formulación c	Infraestructura	100 a 250 personas
X022	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Diseño y formulación c	Infraestructura	1 a 10 personas
X023	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Otros	Proyectos viales	Más de 250 personas
X024	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Edificaciones	10 a 50 personas
X025	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Diseño y formulación c	Edificaciones	10 a 50 personas
X026	Ingeniero de calidad, administración y afines	Construcción	Edificaciones	1 a 10 personas
X027	Ingeniero o administrador de contratos y afines	Mantenimiento y afines	Infraestructura	Más de 250 personas
X028	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Infraestructura	100 a 250 personas
X029	Otros	Construcción	Edificaciones	Más de 250 personas
X030	Arquitecto de diseño, ingeniero de diseño u oficina técnica	Diseño y formulación c	Infraestructura	100 a 250 personas
X031	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Edificaciones	Más de 250 personas
X032	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Edificaciones	Más de 250 personas
X033	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Edificaciones	100 a 250 personas
X034	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Edificaciones	Más de 250 personas
X035	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Supervisión y consulto	Edificaciones	1 a 10 personas
X036	Ingeniero de calidad, administración y afines	Construcción	Edificaciones	10 a 50 personas
X037	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Edificaciones	Más de 250 personas
X038	Ingeniero de calidad, administración y afines	Construcción	Infraestructura	Más de 250 personas
X039	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Diseño y formulación c	Infraestructura	Más de 250 personas
X040	Arquitecto de diseño, ingeniero de diseño u oficina técnica	Construcción	Minería	Más de 250 personas

ID	Rol que desempeña	Rubro de su organiz	Tipo de proyecto	Tamaño organización
X041	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Infraestructura	10 a 50 personas
X042	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Edificaciones	1 a 10 personas
X043	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Infraestructura	10 a 50 personas
X044	Ingeniero o administrador de contratos y afines	Supervisión y consulto	Infraestructura	Más de 250 personas
X045	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Diseño y formulación c	Infraestructura	Más de 250 personas
X046	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Otros	Movimiento de tierra.	10 a 50 personas
X047	Otros	Construcción	Minería	Más de 250 personas
X048	Otros	Construcción	Edificaciones	Más de 250 personas
X049	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Edificaciones	Más de 250 personas
X050	Ingeniero o administrador de contratos y afines	Construcción	Edificaciones	10 a 50 personas
X051	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Edificaciones	50 a 100 personas
X052	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Infraestructura	Más de 250 personas
X053	Otros	Diseño y formulación c	Edificaciones	Más de 250 personas
X054	Ingeniero de costos, valorizaciones y afines	Construcción	Edificaciones	50 a 100 personas
X055	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Infraestructura	50 a 100 personas
X056	Ingeniero de costos, valorizaciones y afines	Otros	Saneamiento urbano	10 a 50 personas
X057	Propietario o representante del cliente	Construcción	Edificaciones	10 a 50 personas
X058	Ingeniero de costos, valorizaciones y afines	Construcción	Infraestructura	10 a 50 personas
X059	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Edificaciones	Más de 250 personas
X060	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Minería	50 a 100 personas
X061	Ingeniero de costos, valorizaciones y afines	Construcción	Edificaciones	100 a 250 personas
X062	Ingeniero de calidad, administración y afines	Construcción	Edificaciones	50 a 100 personas
X063	Residente de obra, supervisor de obra, asistente	Construcción	Edificaciones	1 a 10 personas
X064	Arquitecto de diseño, ingeniero de diseño u oficina técnica	Proveedores	Infraestructura	10 a 50 personas
X065	Arquitecto de diseño, ingeniero de diseño u oficina técnica	Diseño y formulación c	Edificaciones	1 a 10 personas
X066	Otros	Proveedores	Infraestructura	50 a 100 personas
X067	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Construcción	Edificaciones	50 a 100 personas
X068	Ingeniero de costos, valorizaciones y afines	Construcción	Plantas industriales	Más de 250 personas
X069	Ingeniero de planeamiento, producción o afines	Diseño y formulación c	Edificaciones	1 a 10 personas
X070	Otros	Diseño y formulación c	Infraestructura	Más de 250 personas

3) Valoraciones de percepción de barreras y beneficios de la implementación de robots

IC	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-1	RT-1	RT-1	RT-1
X001	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	3
X002	4	5	4	5	5	5	5	4	5	5	4	4	5
X003	3	3	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X004	4	5	4	5	3	4	4	3	4	3	3	3	3
X005	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X006	3	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
X007	2	4	2	4	4	2	2	2	2	2	4	2	2
X008	4	5	5	4	4	3	3	2	3	4	3	2	4
X009	3	2	4	3	2	4	2	4	2	3	4	5	4
X010	5	5	3	2	3	3	3	2	2	4	4	3	3
X011	5	3	4	5	4	2	2	2	3	5	4	5	5
X012	3	4	5	4	3	4	5	3	3	4	4	5	5
X013	5	4	5	5	4	5	2	3	4	5	2	3	2
X014	5	4	4	4	5	5	5	3	3	4	4	3	3
X015	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5
X016	3	4	2	4	3	3	5	2	5	4	4	2	5
X017	4	4	2	4	3	3	2	2	3	3	4	1	3
X018	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
X019	5	5	3	5	4	4	2	3	4	2	4	3	1
X020	4	4	5	4	5	5	4	4	4	5	3	3	4
X021	5	3	3	5	1	4	2	1	1	2	3	2	2
X022	5	5	5	5	5	4	2	2	5	5	5	1	5
X023	4	4	2	4	3	5	5	5	3	5	4	4	5
X024	5	4	5	4	4	5	3	3	4	5	3	4	4
X025	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3	5	5	4
X026	3	4	3	4	4	4	5	4	3	3	3	4	4
X027	3	3	4	4	3	3	3	4	4	2	4	4	3
X028	1	1	1	2	1	1	1	3	3	3	4	4	4
X029	4	5	5	5	2	5	2	1	2	4	5	5	2
X030	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X031	2	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2
X032	4	1	2	2	5	5	1	2	2	5	1	3	4
X033	5	4	3	3	4	4	4	4	3	5	3	3	3
X034	5	3	5	3	4	5	3	4	4	5	4	5	4
X035	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
X036	5	2	4	4	3	2	5	4	2	3	3	3	4
X037	5	4	4	3	2	2	1	4	4	5	1	1	1
X038	4	4	5	5	5	3	5	3	4	5	5	5	5
X039	5	3	5	3	3	5	5	5	5	5	3	5	3
X040	2	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	3

IL	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-0	RT-1	RT-1	RT-1	RT-1
X041	5	3	5	5	3	2	3	5	5	3	4	2	3
X042	3	3	3	3	2	3	5	3	4	4	2	5	3
X043	4	5	5	3	5	3	5	4	5	4	4	5	4
X044	4	4	4	4	4	5	4	4	5	3	5	4	4
X045	4	4	4	5	3	5	3	3	4	3	4	3	3
X046	4	4	2	5	4	4	4	3	5	5	2	2	4
X047	4	3	4	3	3	3	4	4	3	3	4	4	3
X048	5	5	5	5	3	4	3	5	5	5	5	5	5
X049	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5
X050	5	5	4	4	4	5	4	4	3	4	4	5	5
X051	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5
X052	5	3	3	2	5	5	3	2	4	4	4	3	4
X053	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	3
X054	4	5	4	4	5	4	5	4	3	3	4	3	4
X055	3	3	2	2	4	4	3	3	2	4	4	4	4
X056	5	4	5	5	4	4	4	3	3	4	4	4	3
X057	5	4	3	3	3	5	2	2	4	5	4	3	5
X058	5	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5	4	4
X059	3	4	4	4	4	4	4	4	2	3	3	3	3
X060	5	5	3	5	3	3	3	3	3	3	4	4	4
X061	5	4	3	2	5	5	4	4	4	5	4	4	4
X062	5	3	4	5	4	4	4	4	2	5	5	4	5
X063	3	4	3	3	3	2	2	3	4	4	5	3	4
X064	5	4	5	3	4	3	2	3	5	5	4	4	2
X065	4	4	4	5	5	5	4	4	5	4	5	2	4
X066	5	5	5	3	5	2	3	3	2	4	4	3	4
X067	3	5	2	4	5	4	4	4	4	3	3	3	3
X068	5	4	5	5	3	3	3	4	4	3	4	5	4
X069	2	3	3	5	3	3	3	3	4	3	5	3	5
X070	4	4	3	5	5	5	4	5	5	5	5	4	4

IL	BN-0	BN-0	BN-0	BN-0	BN-0	BN-0	BN-0	BN-0	BN-0	BN-1	BN-1
X001	4	3	5	5	4	3	5	4	3	4	4
X002	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	5
X003	3	4	3	3	5	4	4	4	4	4	4
X004	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	4
X005	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
X006	3	4	4	5	4	3	4	4	4	4	4
X007	4	3	4	5	4	4	4	3	4	4	4
X008	4	4	3	3	5	5	5	5	4	4	4
X009	4	3	4	4	2	2	5	4	3	5	5
X010	3	3	4	4	3	2	5	2	3	3	5
X011	4	3	3	4	5	5	5	4	4	4	4
X012	4	3	2	3	4	4	4	4	5	4	4
X013	5	5	5	5	5	5	4	5	4	3	3
X014	3	2	4	4	4	4	3	3	5	4	4
X015	5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5
X016	5	3	3	3	4	5	4	4	3	5	4
X017	4	3	4	2	2	3	4	3	3	4	4
X018	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
X019	5	5	5	3	5	5	4	5	1	3	4
X020	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X021	3	3	4	2	3	1	4	2	2	4	3
X022	5	5	5	5	2	2	5	4	5	4	4
X023	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X024	4	5	5	5	5	4	5	4	4	5	5
X025	3	3	3	4	5	5	4	5	2	3	4
X026	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	5
X027	4	4	3	2	4	4	3	3	2	4	3
X028	4	4	2	3	3	4	4	5	3	4	4
X029	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5
X030	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X031	3	3	5	5	5	2	1	1	2	2	2
X032	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X033	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5
X034	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5
X035	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X036	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4
X037	5	5	3	3	5	5	5	3	3	5	5
X038	4	2	4	3	5	5	2	1	2	3	3
X039	5	3	3	4	4	4	4	2	2	3	3
X040	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4

IL	BN-C	BN-C	BN-C	BN-C	BN-C	BN-C	BN-C	BN-C	BN-C	BN-1	BN-1
X041	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X042	5	3	5	4	5	3	3	2	3	4	4
X043	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4
X044	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4
X045	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X046	3	4	4	4	2	5	4	4	5	5	5
X047	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4
X048	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5
X049	5	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2
X050	5	4	4	3	3	3	4	4	4	4	5
X051	4	4	3	3	3	3	3	3	1	3	4
X052	4	4	5	5	4	4	4	5	4	4	5
X053	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5
X054	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
X055	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5
X056	3	3	4	4	4	5	5	4	4	5	4
X057	5	5	4	4	3	3	4	3	4	5	4
X058	5	4	5	5	4	4	5	5	5	5	5
X059	5	4	5	5	5	5	5	4	4	4	4
X060	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X061	4	4	5	5	5	5	5	3	5	5	5
X062	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	4
X063	3	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4
X064	5	2	5	5	3	3	5	5	5	5	5
X065	5	5	5	4	2	2	4	3	3	3	3
X066	3	4	4	4	2	4	4	5	5	5	4
X067	5	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4
X068	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
X069	4	4	4	4	4	4	3	3	2	3	3
X070	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5

Anexo E: Bases de datos y archivos de trabajo SPSS V24

GET

FILE='D:\00Angela 2023\00 EGRESADA\TESIS EGRESO\DATA PROCESADA.sav'.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.

RELIABILITY

/VARIABLES=Débilcultura de innovación para la adopción de robots en los procesos
Falta de interés de la dirección de la empresa debido a una visión acortada
Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción
Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación
Poca colaboración y desconfianza en la industria para la implementación
Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos
Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots
Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el almacenamiento de información
Funcionalidades y características limitadas de los robots
Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos complejos
Deficiente cadena de suministro para la adopción de robots
Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción
Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas
/SCALE('ALL VARIABLES') ALL
/MODEL=ALPHA.

Fiabilidad

[ConjuntoDatos1] D:\00Angela 2023\00 EGRESADA\TESIS EGRESO\DATA PROCESADA.sav

Escala: ALL VARIABLES

Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	70	100,0
	Excluido ^a	0	,0
	Total	70	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,839	13

RELIABILITY

```

/VARIABLES=Mayorventajacompetitivaalasorganizacionesdebidoalusodetecnología
Incrementodelasatisfaccióndelosinteresadosdelproyectedebidoalam
Reduccióndeloscostosdemanodeobraycostosderetrabajos
Reduccióndegastosgeneralesdebidoalincrementodelaproductividad
Reduccióndecostosenseguridadysaludeneltrabajodebidoalareducció
Reduccióndelesionesyliberacióndelostrabajadoresdelaejecución
Ayudaalamejoracontinualaproducciónindustrializadayautomatizada
Mejoradelcontroldeleentornodetrabajodebidoalaagilizaciónendetec
Simplificacióndeloscomplejosprocesosdeconstrucciónyeliminació
Mejoradelacalidaddeproducciónusoeficientederecursoselaincremento
Procesosconstructivosmáseficientesdebidoalainteracciónentrelos
/SCALE('prueba') ALL
/MODEL=ALPHA
/STATISTICS=DESCRIPTIVE SCALE
/SUMMARY=TOTAL MEANS VARIANCE.

```

Fiabilidad

Escala: prueba

Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	70	100,0
	Excluido ^a	0	,0
	Total	70	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
,879	,882	11

Estadísticas de elemento

	Media	Desviación estándar	N
Mayor ventaja competitiva a las organizaciones debido al uso de tecnología.	4,23	,783	70
Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots."	3,91	,880	70
Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos."	4,21	,866	70
Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.	4,07	,997	70
Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas."	4,09	,989	70
Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de tareas peligrosas."	4,11	1,029	70
Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada."	4,30	,823	70
Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información."	4,03	1,076	70

Estadísticas de elemento

	Media	Desviación estándar	N
Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas."	3,91	1,139	70
Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción "	4,23	,783	70
Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).	4,27	,760	70

Estadísticas de elemento de resumen

	Media	Mínimo	Máximo	Rango	Máximo / Mínimo	Varianza
Medias de elemento	4,125	3,914	4,300	,386	1,099	,018
Varianzas de elemento	,863	,577	1,297	,719	2,246	,061

Estadísticas de elemento de resumen

	N de elementos
Medias de elemento	11
Varianzas de elemento	11

Estadísticas de total de elemento

	Media de escala si el elemento se ha suprimido	Varianza de escala si el elemento se ha suprimido	Correlación total de elementos corregida	Correlación múltiple al cuadrado
Mayor ventaja competitiva a las organizaciones debido al uso de tecnología.	41,14	42,878	,372	,303
Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots."	41,46	40,310	,557	,442
Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos."	41,16	40,482	,551	,532
Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.	41,30	39,459	,547	,523
Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas."	41,29	41,222	,402	,521
Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de tareas peligrosas."	41,26	38,773	,583	,638
Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada."	41,07	39,227	,719	,656
Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información."	41,34	36,576	,735	,658

Estadísticas de total de elemento

	Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido
Mayor ventaja competitiva a las organizaciones debido al uso de tecnología.	,881
Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots."	,871
Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos."	,871
Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.	,872
Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas."	,882
Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de tareas peligrosas."	,869
Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada."	,861
Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información."	,858

Estadísticas de total de elemento

	Media de escala si el elemento se ha suprimido	Varianza de escala si el elemento se ha suprimido	Correlación total de elementos corregida	Correlación múltiple al cuadrado
Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas."	41,46	36,484	,693	,645
Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción "	41,14	39,921	,684	,677
Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).	41,10	39,946	,706	,660

Estadísticas de total de elemento

	Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido
Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas."	,861
Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción "	,864
Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).	,863

Estadísticas de escala

Media	Varianza	Desviación estándar	N de elementos
45,37	47,309	6,878	11

FRECUENCIES VARIABLES=Débil cultura de innovación para la adopción de robots en los procesos

Falta de interés de la dirección de la empresa debido a una visión a corto plazo
 Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción daña a la
 Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación
 Poca colaboración y desconfianza en la industria para la implementación
 Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de
 Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots en temas de seguridad
 Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el almacenamiento de información
 Funcionalidades y características limitadas de los robots
 Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos complejos y su instalación
 Deficiente cadena de suministro para la adopción de robots
 Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción
 Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas

/ORDER=ANALYSIS.

Frecuencias

Estadísticos

		Débil cultura de innovación para la adopción de robots en los procesos constructivos.	Falta de interés de la dirección de la empresa, debido a una visión a corto plazo de la industria de la construcción."	Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción (daños a la propiedad, salud, vida)."	Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación de robots.	Poca colaboración y desconfianza en la industria, para la implementación de robots en proyectos de construcción."
N	Válido	70	70	70	70	70
	Perdidos	0	0	0	0	0

Estadísticos

		Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados del proyecto para la adopción de robots."	Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots en temas de seguridad, privacidad y desempleo por parte de los interesados del proyecto."	Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el almacenamiento de información generada por los robots."	Funcionalidades y características limitadas de los robots	Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos complejos y su instalación en el sitio de construcción podrá ser complicada.
N	Válido	70	70	70	70	70
	Perdidos	0	0	0	0	0

Estadísticos

		Deficiente cadena de suministro para la adopción de robots."	Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción entre humanos y robots."	Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas de construcción actuales."
N	Válido	70	70	70
	Perdidos	0	0	0

Tabla de frecuencia

Débil cultura de innovación para la adopción de robots en los procesos constructivos.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	1	1,4	1,4	1,4
	2	5	7,1	7,1	8,6
	3	13	18,6	18,6	27,1
	4	19	27,1	27,1	54,3
	5	32	45,7	45,7	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Falta de interés de la dirección de la empresa, debido a una visión a corto plazo de la industria de la construcción."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	2	2,9	2,9	2,9
	2	3	4,3	4,3	7,1
	3	16	22,9	22,9	30,0
	4	29	41,4	41,4	71,4
	5	20	28,6	28,6	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Falta de legislación sobre el uso de robots en la construcción (daños a la propiedad, salud, vida)."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	1	1,4	1,4	1,4
	2	9	12,9	12,9	14,3
	3	18	25,7	25,7	40,0
	4	18	25,7	25,7	65,7
	5	24	34,3	34,3	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Baja inversión y recursos limitados de la empresa para la implementación de robots.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	7	10,0	10,0	10,0
	3	15	21,4	21,4	31,4
	4	22	31,4	31,4	62,9
	5	26	37,1	37,1	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Poca colaboración y desconfianza en la industria, para la implementación de robots en proyectos de construcción."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	2	2,9	2,9	2,9
	2	4	5,7	5,7	8,6
	3	22	31,4	31,4	40,0
	4	20	28,6	28,6	68,6
	5	22	31,4	31,4	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Ausencia de mano de obra calificada y pocos conocimientos tecnológicos de los interesados del proyecto para la adopción de robots."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	2	2,9	2,9	2,9
	2	7	10,0	10,0	12,9
	3	15	21,4	21,4	34,3
	4	20	28,6	28,6	62,9
	5	26	37,1	37,1	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Percepción de miedo y desconfianza hacia los robots en temas de seguridad, privacidad y desempleo por parte de los interesados del proyecto."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	4	5,7	5,7	5,7
	2	12	17,1	17,1	22,9
	3	17	24,3	24,3	47,1
	4	19	27,1	27,1	74,3
	5	18	25,7	25,7	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

**Necesidad de seguridad y fiabilidad sobre el
almacenamiento de información generada por los robots."**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	3	4,3	4,3	4,3
	2	10	14,3	14,3	18,6
	3	22	31,4	31,4	50,0
	4	23	32,9	32,9	82,9
	5	12	17,1	17,1	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Funcionalidades y características limitadas de los robots

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	2	2,9	2,9	2,9
	2	10	14,3	14,3	17,1
	3	20	28,6	28,6	45,7
	4	19	27,1	27,1	72,9
	5	19	27,1	27,1	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

**Los robots pueden necesitar requisitos tecnológicos
complejos y su instalación en el sitio de construcción podrá
ser complicada.**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	5	7,1	7,1	7,1
	3	20	28,6	28,6	35,7
	4	18	25,7	25,7	61,4
	5	27	38,6	38,6	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Deficiente cadena de suministro para la adopción de robots."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	2	2,9	2,9	2,9
	2	4	5,7	5,7	8,6
	3	14	20,0	20,0	28,6
	4	31	44,3	44,3	72,9
	5	19	27,1	27,1	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Falta de organismos y normas que contribuyan a la regulación de la interacción entre humanos y robots."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	4	5,7	5,7	5,7
	2	9	12,9	12,9	18,6
	3	21	30,0	30,0	48,6
	4	18	25,7	25,7	74,3
	5	18	25,7	25,7	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Incompatibilidad de los robots y complejidad de adaptación con las prácticas de construcción actuales."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	2	2,9	2,9	2,9
	2	6	8,6	8,6	11,4
	3	19	27,1	27,1	38,6
	4	25	35,7	35,7	74,3
	5	18	25,7	25,7	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la
Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos
Reducción de gastos generales debido al incremento de la productividad
Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción
Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de
Ayuda a la mejora continua de la producción industrializada y automatizada
Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización de la
Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de
Mejora de la calidad de producción uso eficiente de recursos e incremento de
Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los

/ORDER=ANALYSIS.

Estadísticos

		Mayor ventaja competitiva a las organizaciones debido al uso de tecnología.	Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots."	Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos."	Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.	Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo debido a la reducción de personas expuestas a actividades peligrosas."
N	Válido	70	70	70	70	70
	Perdidos	0	0	0	0	0

Estadísticos

		Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la ejecución de tareas peligrosas."	Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y automatizada."	Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información."	Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas."	Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción "
N	Válido	70	70	70	70	70
	Perdidos	0	0	0	0	0

Estadísticos

		Procesos constructivos más eficientes debido a la interacción entre los robots y otras tecnologías digitales (interoperabilidad).
N	Válido	70
	Perdidos	0

Tabla de frecuencia

Mayor ventaja competitiva a las organizaciones debido al uso de tecnología.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	3	15	21,4	21,4	21,4
	4	24	34,3	34,3	55,7
	5	31	44,3	44,3	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Incremento de la satisfacción de los interesados del proyecto debido a la mejora de procesos asociados a robots."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	4	5,7	5,7	5,7
	3	18	25,7	25,7	31,4
	4	28	40,0	40,0	71,4
	5	20	28,6	28,6	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Reducción de los costos de mano de obra y costos de retrabajos."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	3	4,3	4,3	4,3
	3	11	15,7	15,7	20,0
	4	24	34,3	34,3	54,3
	5	32	45,7	45,7	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Reducción de gastos generales, debido al incremento de la productividad.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	1	1,4	1,4	1,4
	2	4	5,7	5,7	7,1
	3	14	20,0	20,0	27,1
	4	21	30,0	30,0	57,1
	5	30	42,9	42,9	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

**Reducción de costos en seguridad y salud en el trabajo
debido a la reducción de personas expuestas a actividades
peligrosas."**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	7	10,0	10,0	10,0
	3	10	14,3	14,3	24,3
	4	23	32,9	32,9	57,1
	5	30	42,9	42,9	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

**Reducción de lesiones y liberación de los trabajadores de la
ejecución de tareas peligrosas."**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	1	1,4	1,4	1,4
	2	6	8,6	8,6	10,0
	3	9	12,9	12,9	22,9
	4	22	31,4	31,4	54,3
	5	32	45,7	45,7	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

**Ayuda a la mejora continua, la producción industrializada y
automatizada."**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	1	1,4	1,4	1,4
	2	1	1,4	1,4	2,9
	3	7	10,0	10,0	12,9
	4	28	40,0	40,0	52,9
	5	33	47,1	47,1	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Mejora del control del entorno de trabajo debido a la agilización en detección de problemas, mayor conectividad e integración de información."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	2	2,9	2,9	2,9
	2	5	7,1	7,1	10,0
	3	12	17,1	17,1	27,1
	4	21	30,0	30,0	57,1
	5	30	42,9	42,9	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Simplificación de los complejos procesos de construcción y eliminación de las tareas no productivas."

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	2	2,9	2,9	2,9
	2	8	11,4	11,4	14,3
	3	12	17,1	17,1	31,4
	4	20	28,6	28,6	60,0
	5	28	40,0	40,0	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

Mejora de la calidad de producción, uso eficiente de recursos e incremento del rendimiento de los equipos de construcción "

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	2,9	2,9	2,9
	3	9	12,9	12,9	15,7
	4	30	42,9	42,9	58,6
	5	29	41,4	41,4	100,0
	Total	70	100,0	100,0	

**Procesos constructivos más eficientes debido a la
interacción entre los robots y otras tecnologías digitales
(interoperabilidad).**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	2,9	2,9	2,9
	3	7	10,0	10,0	12,9
	4	31	44,3	44,3	57,1
	5	30	42,9	42,9	100,0
	Total	70	100,0	100,0	