

Trabajo Fin de Grado

Desarrollo de un Proceso de Aseguramiento de la
Calidad Inspirado en APQP para la Implementación de
AGV y AMR en la Logística Industrial

Development of a Quality Assurance Process Inspired
by APQP for the Implementation of AGV and AMR in
Industrial Logistics

Autor

Marino Casanova Gracia

Director

Álvaro García Lázaro

Codirector

Ángel Fernández Cuello

Titulación

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza

2023/2024

RESUMEN

La automatización es un pilar fundamental en la optimización de procesos industriales. Moontech Industrial Solutions S.L.U se especializa en implementar vehículos guiados automáticamente (AGV) y robots móviles autónomos (AMR). La problemática de la falta de educación del cliente, la falta de experiencia y el continuo cambio de tecnologías hace necesario un seguimiento riguroso de procesos para asegurar la calidad y satisfacer los requisitos del cliente.

APQP (Advanced Product Quality Planning) es un enfoque sistemático para la planificación y desarrollo de productos de alta calidad, comúnmente utilizado en la industria automotriz y adaptado a otras industrias para garantizar que los productos y servicios cumplan con los más altos estándares desde el principio.

El objetivo principal de este TFG es desarrollar un proceso estructurado de aseguramiento de la calidad específico para la implementación de AGV y AMR en Moontech, inspirado en las metodologías de APQP y adaptado a las necesidades y particularidades de la empresa. Además, se pretende identificar áreas de mejora y los requisitos de calidad clave para la implementación de AGV y AMR en la logística industrial.

Se ha elaborado una Guía de Prevención de Errores y una Matriz de Planificación y Calidad detallada, herramientas esenciales para anticipar problemas y asegurar la calidad en cada fase del proyecto. También se han desarrollado otros documentos y un manual que sirven de apoyo integral.

El proyecto proporciona una visión holística del ciclo de vida de un proyecto en Moontech, destacando la importancia de la calidad del servicio y el cumplimiento de los requisitos del cliente. Los objetivos se han cumplido satisfactoriamente y el modelo obtenido ha comenzado a utilizarse, aunque las conclusiones no son definitivas debido a la extensa duración de los proyectos.

Las líneas futuras de desarrollo incluyen la posible informatización y digitalización del proceso para mejorar la efectividad, visualización y accesibilidad. Además, conforme se utilice y se obtenga retroalimentación, el modelo deberá actualizarse y mejorarse de manera paralela al desarrollo del sector para seguir siendo relevante y efectivo.

ABSTRACT

Automation is a fundamental pillar in the optimization of industrial processes. Moontech Industrial Solutions S.L.U specializes in the implementation of Automated Guided Vehicles (AGVs) and Autonomous Mobile Robots (AMRs). Challenges such as client education, lack of experience, and the continuous evolution of technologies demand meticulous process monitoring to ensure quality and meet client requirements.

APQP (Advanced Product Quality Planning) is a systematic approach to planning and developing high-quality products, widely used in the automotive industry and adaptable to other sectors to ensure that products and services meet the highest standards from the outset.

The main objective of this TFG is to develop a structured quality assurance process specifically for the implementation of AGVs and AMRs at Moontech, inspired by APQP methodologies and tailored to the company's specific needs and circumstances. Additionally, the project aims to identify areas for improvement and key quality requirements for the deployment of AGVs and AMRs in industrial logistics.

A comprehensive Error Prevention Guide and a detailed Planning and Quality Matrix have been developed as essential tools to anticipate issues and ensure quality throughout each phase of the project. Additional documents and a manual have also been created to provide integral support.

This project offers a holistic view of the project lifecycle at Moontech, highlighting the importance of service quality and adherence to client requirements. The objectives have been satisfactorily achieved, and the developed model has started to be implemented, although definitive conclusions cannot yet be drawn due to the long duration of the projects.

Future development directions include the potential computerization and digitalization of the process to enhance effectiveness, visualization, and accessibility. Moreover, as the model is applied and feedback is received, it will need to be updated and improved in tandem with industry developments to remain relevant and effective.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. CONTEXTO.....	8
1.2. OBJETIVOS Y MÉTODOS.....	10
1.3. ESTRUCTURA	11
2. OBTENCIÓN DEL MÉTODO.....	12
2.1. CRONOLOGÍA DEL TRABAJO REALIZADO	15
3. APLICACIÓN DEL MÉTODO.....	17
3.1. FASE 1: PREVENTA. PROPUESTA INICIAL.....	18
3.1.1. <i>Primer Contacto</i>	18
3.1.2. <i>Visita a Planta y Recopilación de Información</i>	18
3.1.3. <i>Estudio del Proyecto</i>	19
3.1.4. <i>Envío de la Propuesta Inicial</i>	20
3.1.5. <i>Ejemplo de Aplicación</i>	20
3.2. FASE 2: VENTA. PROPUESTA FINAL.....	20
3.2.1. <i>Replanteamiento del Proyecto</i>	20
3.2.2. <i>Diseño Detallado del Proyecto</i>	21
3.2.3. <i>Oferta y Propuesta Final</i>	22
3.2.4. <i>Ejemplo de Aplicación</i>	22
3.3. FASE 3: IMPLEMENTACIÓN	22
3.3.1. <i>Preparación y Desarrollo de Software</i>	22
3.3.2. <i>Conexión a la Red</i>	23
3.3.3. <i>Mapeado</i>	23
3.3.4. <i>Configuración de Rutas</i>	23
3.3.5. <i>Pruebas y Aplicación del Software</i>	24
3.3.6. <i>Formación</i>	24
3.3.7. <i>Monitorización</i>	24
3.3.8. <i>Ejemplo de Aplicación</i>	25
3.4. FASE 4: POSTVENTA Y MANTENIMIENTO.....	25
3.4.1. <i>Mantenimiento</i>	25
3.4.2. <i>Actualizaciones</i>	25
3.4.3. <i>Retroalimentación</i>	26
3.4.4. <i>Ejemplo de Aplicación</i>	26
4. CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	27
5. CONCLUSIONES	28
6. ANEXOS.....	30
6.1. ANEXO I. FUNDAMENTOS BÁSICOS	30
6.1.1. <i>Conceptos clave</i>	30
6.1.2. <i>Tipologías de Robots</i>	30

6.1.3. <i>Tipos de carga</i>	33
6.2. ANEXO II. MATRIZ DE PLANIFICACIÓN Y CALIDAD, VERSIÓN EXTENDIDA	34
6.3. ANEXO III. LESSONS LEARNED.....	36
6.4. ANEXO IV. MANUAL DE ESTUDIO INICIAL DE PROYECTOS	38
6.4.1. <i>Obtención de Información</i>	38
6.4.2. <i>Operativas</i>	39
6.4.2.1. <i>Flujograma</i>	39
6.4.2.2. <i>Dibujo de las estaciones</i>	41
6.4.3. <i>Elección de tipología</i>	42
6.4.4. <i>Cálculo del número de AGVs</i>	43
6.4.5. <i>Plantilla de propuesta inicial</i>	44
7. BIBLIOGRAFÍA	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ejemplo de utilización de AGVs en la logística industrial. (Fuente: Moontech)....	8
Ilustración 2. Ejemplo de utilización de AMRs en la logística industrial. (Fuente: VisionNav Robotics)	9
Ilustración 3. Esquema de las Fases y Subfases de un Proceso de Implementación de AGVs o AMRs. (Elaboración propia)	13
Ilustración 4. Ejemplos de AGV de arrastre. (Fuente: Moontech)	30
Ilustración 5. Ejemplo de AMR tipo mouse. (Fuente: HikRobotics)	31
Ilustración 6. Ejemplos de AMRs Forklift (Fuente: Moontech y Seer Robotics)	31
Ilustración 7. Ejemplo de AMR Contrapesada (Fuente: VisionNav)	31
Ilustración 8. Ejemplo de AMR Carretilla (Fuente: VisionNav).....	31
Ilustración 9. Ejemplo de AMR Tow Tractor (Fuente: VisionNav).....	32
Ilustración 10. Ejemplo de AMR a medida (Fuente: DTA).....	32
Ilustración 11. Ejemplo de AMR Retráctil (Fuente: VisionNav)	32
Ilustración 12. Ejemplo de AMR con brazo robótico (Fuente: IPLUSMOBOT).....	33
Ilustración 13. Ejemplos de posibilidades de transporte. (Elaboración Propia).....	33
Ilustración 14. Formulario Lessons Learned, parte 1/2 (Elaboración propia).....	36
Ilustración 15. Formulario Lessons Learned, parte 2/2 (Elaboración propia).....	37
Ilustración 16. Ejemplo de Flujograma sobre Layout. (Elaboración propia)	40
Ilustración 17. Ejemplo desarrollado de Flujograma. (Elaboración propia)	40
Ilustración 18. Ejemplo 1 de dibujo de las estaciones. (Elaboración propia).....	41
Ilustración 19. Ejemplo 2 de dibujo de las estaciones. (Elaboración propia).....	42
Ilustración 20. Ejemplo 3 de dibujo de las estaciones. (Elaboración propia).....	42
Ilustración 21. Fotografía de una estación de carga de material complicada. (Fuete: VisionNav)	43
Ilustración 22. Ejemplo de utilización del Modelo de Excel para el cálculo del número de AGVs. (Elaboración propia).....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Implicación de las 4 líneas del proyecto. (Elaboración propia)	14
Tabla 2. Matriz de Planificación y Calidad en versión reducida. (Elaboración propia).....	17
Tabla 3. Matriz de Planificación y Calidad en versión extendida, parte 1/2 (Elaboración propia)	34
Tabla 4. Matriz de Planificación y Calidad en versión extendida, parte 2/2 (Elaboración propia)	35

1. Introducción

1.1. Contexto

En la era de la Industria 4.0, la automatización ha emergido como un pilar fundamental para la optimización de procesos industriales. Los Vehículos Guiados Automáticamente (AGV) y los Robots Móviles Autónomos (AMR) han revolucionado la logística interna, ofreciendo soluciones eficientes y flexibles.

Los AGV, una tecnología presente desde hace muchos años, han evolucionado para volverse más eficientes. Son vehículos autónomos guiados que siguen rutas predefinidas, utilizados en logística y transporte de materiales. La Ilustración 1 muestra un ejemplo de su operación en la logística industrial.



Ilustración 1. Ejemplo de utilización de AGVs en la logística industrial. (Fuente: Moontech)

Por otro lado, los AMR representan una evolución de los AGV. Utilizan tecnologías avanzadas para escanear el entorno y ubicarse en la planta, calculando trayectorias y comunicándose con otros vehículos en tiempo real para gestionar óptimamente los movimientos necesarios. La principal diferencia con los AGV es que los AMR disponen de mayor flexibilidad y funcionalidades. A pesar de esto, en la industria se usa comúnmente la palabra AGV para referirse a cualquier tipo de vehículo autónomo, aunque no sea estrictamente correcto. La Ilustración 2 muestra un ejemplo de AMRs en uso.

Moontech Industrial Solutions S.L.U, una spin-off tecnológica del Grupo CEFA, nació de la necesidad de automatización industrial. Su misión es ayudar a diversas empresas a mejorar su eficiencia y reducir riesgos mediante la automatización y digitalización de los movimientos intralogísticos en sus fábricas. Moontech se especializa en digitalizar procesos industriales para mejorar el control, la seguridad y el aprovechamiento de recursos. Recientemente, ha añadido la implantación de vehículos autónomos (AGV y AMR) a sus servicios, encargándose de comparar y adquirir estos dispositivos de diversos proveedores. En la bibliografía se puede encontrar el

canal de YouTube de Moontech, donde se presentan vídeos de diferentes proyectos y ejemplos del funcionamiento de los robots.

Durante una primera estancia en prácticas en la empresa, en febrero de 2024, participé en diversas actividades y departamentos, lo que me permitió identificar carencias, o mejor dicho, áreas de mejora que me veía capaz de abordar. Moontech ofrece una combinación de servicio y producto, donde su software se integra con la venta de robots para transportar materiales en plantas industriales, uniendo sistemas lógicos con sistemas físicos mediante una capa de software desarrollada internamente. El Anexo I detalla los tipos de vehículos con los que trabaja Moontech, junto con explicaciones de algunos conceptos y tipos de carga transportable.



Ilustración 2. Ejemplo de utilización de AMRs en la logística industrial. (Fuente: VisionNav Robotics)

Debido a la inexperiencia y los constantes cambios en la industria robótica, los procesos de integración de AMR y AGV en la logística aún no están lo suficientemente maduros, lo que hace que la integración sea compleja y costosa. Además, la rápida evolución tecnológica obliga a estar preparados para nuevos modelos y versiones de robots. Otro problema es que muchos clientes que buscan automatizar sus procesos intralogísticos no están suficientemente formados y concienciados de las implicaciones de adaptar estas nuevas tecnologías y transiciones.

A partir de estos desafíos, se me ocurrió que mi TFG podría consistir en desarrollar un procedimiento de aseguramiento de la calidad para este tipo de proyectos. Así surgió la idea inicial de documentar el ciclo de vida de un proyecto de forma genérica. Mi codirector académico, Ángel Fernández, sugirió aplicar la metodología "APQP", que ayudaría a Moontech a establecer planificaciones claras y garantizar la calidad del proyecto, proporcionando una visión holística, la capacidad de anticipar problemas, considerar factores clave en las decisiones, garantizar el cumplimiento de los objetivos y asegurar los requisitos del cliente.

Durante mi estancia en la empresa, realizando prácticas no curriculares para mi TFG desde mediados de marzo hasta mediados de junio, participé activamente en diversos proyectos y, como actividad principal, en el estudio inicial de proyectos de clientes y en la elaboración de propuestas

y ofertas. Tuve acceso a más de 20 proyectos en diferentes etapas, lo que me permitió obtener referencias suficientes para estudiar el ciclo de vida de un proyecto en Moontech, identificar problemas potenciales y reconocer los procesos necesarios para mantener la calidad. Moontech no contaba con una planificación genérica preestablecida para el seguimiento, toma de decisiones, registro de problemas y documentación necesaria, entre otros. Al proponer esta idea, la empresa vio en ella un gran valor para los proyectos actuales y futuros. La directiva de Moontech aprobó mi proyecto, permitiéndome investigarlo con bastante autonomía, estudiar diferentes proyectos en marcha, visitar implantaciones en curso y recopilar información de los trabajadores de la empresa.

El modelo estructurado de APQP, "Advanced Product Quality Planning", es un enfoque sistemático para la planificación y desarrollo de productos de alta calidad. Este enfoque, común en la industria automotriz, se ha extendido a otras industrias como la aeroespacial, la electrónica y la médica. Sirve para garantizar que los productos y servicios sean diseñados y fabricados con los más altos estándares de calidad desde el principio, ayudando a reducir costos, minimizar el retrabajo y satisfacer las expectativas del cliente. APQP se centra en la anticipación y prevención de problemas de calidad a lo largo del ciclo de vida del producto, desde la concepción hasta la finalización. El proceso APQP implica varias etapas, cada una asociada con actividades específicas y requerimientos de documentación para asegurar que se cumplen los estándares de calidad. También se discuten las herramientas y técnicas utilizadas en el proceso, como el análisis de riesgos y la planificación de pruebas.

1.2. Objetivos y métodos

El objetivo principal de este TFG es desarrollar un proceso estructurado de aseguramiento de la calidad específico para la implementación de AGV y AMR en Moontech, inspirado en las metodologías de APQP y adaptado a las necesidades y particularidades de la empresa. Además, se pretende identificar áreas de mejora y los requisitos de calidad clave para la implementación de AGV y AMR en la logística industrial.

Otros objetivos incluyen crear un plan de mejora continua que permita a Moontech mantener altos estándares de calidad en todas sus implementaciones, ayudar en la formación de nuevos integrantes en la empresa, aportar valor a los proyectos de Moontech y ayudar a los trabajadores en el seguimiento de los proyectos, proporcionando transparencia y un esquema general holístico para fomentar la cooperación entre cliente y proveedor.

Para alcanzar estos objetivos, se han utilizado técnicas como la adaptación de los conceptos de APQP a proyectos de implementación de AGV y AMR, y el análisis de requisitos para identificar los criterios de calidad relevantes en la logística industrial. Además, se realizaron entrevistas y grupos de discusión para recopilar información y retroalimentación de los diferentes stakeholders de la empresa. Por último, se ha desarrollado la documentación necesaria, incluyendo manuales,

procedimientos y formularios para la obtención y aplicación del proceso de aseguramiento de la calidad.

El trabajo previo que ha servido de apoyo incluye la bibliografía sobre la metodología de APQP proporcionada por mi codirector (*Software as a Communication Platform, Entendiendo el APQP: Planificación Avanzada para la Calidad del Producto, The Relevance of Pro4Plast*), mi estancia en prácticas previa a la realización del TFG donde obtuve experiencia en este ámbito profesional, y el apoyo de mis compañeros de Moontech que me han servido como fuente de información y supervisión. También, las propuestas y trabajos previos realizados por Moontech me han servido como base desde la que trabajar para aportar un valor extra a la empresa.

1.3. Estructura

El contenido de este TFG comienza con el apartado “Obtención del Método” donde se explica cómo se ha desarrollado el modelo, los procedimientos y la cronología seguida para crear el Modelo de Aseguramiento de Calidad Inspirado en APQP.

A continuación, en el apartado “Aplicación del Método” se muestra el modelo obtenido y se explica cómo se debe proceder para seguirlo adecuadamente. La metodología inspirada en APQP desarrollada consta de dos documentos: la "Matriz de Planificación y Calidad" y la "Guía de Prevención de Errores".

En el apartado “Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible”, se expone la manera en la que Moontech contribuye a los ODS con su labor y la implementación de vehículos autónomos, lo cual ha sido incluido por petición expresa de la empresa, ya que consideraron que favorecía a la empresa y le proporcionaba un valor extra.

2. Obtención del Método

Para comprender adecuadamente el desarrollo de un proyecto en Moontech, es esencial conocer los pasos iniciales. El proyecto comienza con un estudio de las operaciones del cliente y el diseño de soluciones personalizadas para automatizar y optimizar ciertos procesos. Principalmente, se enfocan en operativas de transporte de materiales y soluciones de software relacionadas con el control de dichos procesos. Posteriormente, se selecciona el robot adecuado considerando las distintas tipologías y proveedores disponibles, y se analizan todos los factores necesarios, como el número de robots, el software a desarrollar, las modificaciones de infraestructuras, nuevos procedimientos, entre otros. A partir de este análisis, se desarrolla una propuesta que el cliente debe aprobar, la cual suele ser de alto presupuesto y con competencia directa. Si la oferta es aceptada, se inicia la implementación y el desarrollo del proyecto diseñado. Al finalizar, se proporciona un servicio de mantenimiento acorde a las necesidades del cliente.

En este contexto, procedí a desarrollar un modelo APQP adaptado a las necesidades de Moontech. En primer lugar, consulté la bibliografía adecuada, proporcionada en su mayoría por mi codirector, quien tiene experiencia en el método. Utilicé el documento "*Software as a Communication Platform*" de la bibliografía 1, "*Entendiendo el APQP: Planificación Avanzada para la Calidad del Producto*" de la bibliografía 2, y "*The Relevance of Pro4Plast*" de la bibliografía 3, para obtener la información necesaria sobre cómo dividir cada fase del proyecto, qué aspectos considerar y cómo analizarlos para elaborar un modelo propio aplicado a las condiciones específicas de Moontech.

Para la división de fases, se utilizó la metodología Stage-Gate, adaptada específicamente para Moontech. Siguiendo las directrices marcadas por la bibliografía, el proyecto se dividió en cuatro fases:

- Fase 1: Preventa. Propuesta Inicial.
- Fase 2: Venta. Propuesta Final.
- Fase 3: Implementación
- Fase 4: Postventa y Mantenimiento

Cada fase está marcada por un hito o decisión importante, basados en acuerdos entre el cliente y Moontech, que implican el cumplimiento de objetivos que autorizan el inicio de nuevas tareas. La duración de cada fase varía debido a múltiples factores, como la disponibilidad de los proveedores de robots (que pueden estar en stock, ser enviados desde China o incluso tener que ser fabricados a medida) y el tamaño del proyecto (la implementación de un solo robot puede llevar un día, mientras que un gran número de dispositivos puede tardar meses).

Dentro de cada fase, se han determinado una serie de subfases comunes a todos los procesos de implementación de AGVs o AMRs, representadas en la Ilustración 3.

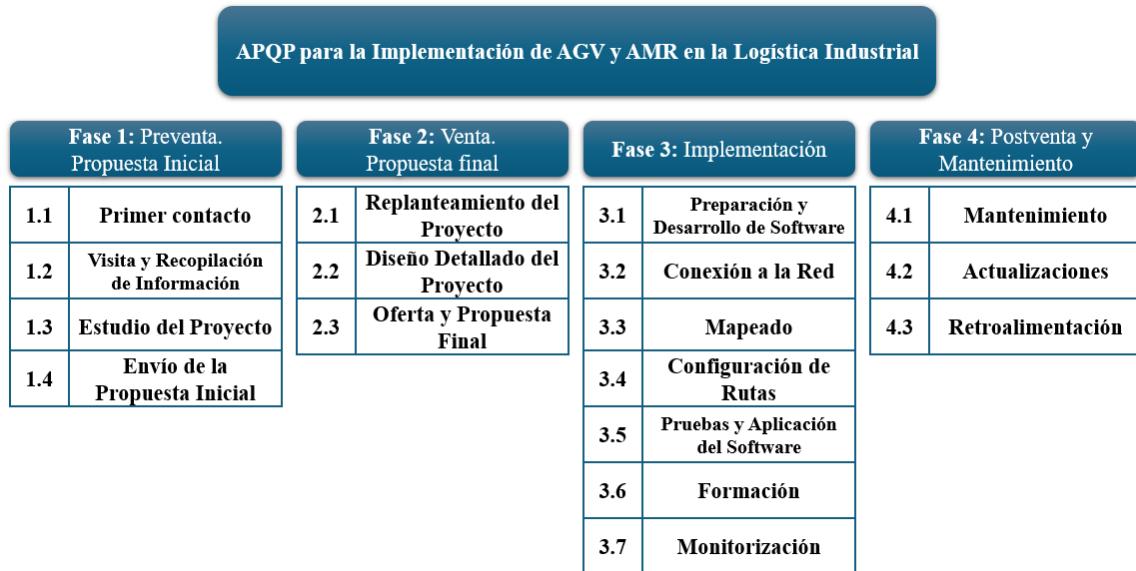


Ilustración 3. Esquema de las Fases y Subfases de un Proceso de Implementación de AGVs o AMRs. (Elaboración propia)

Es importante destacar que, desde una visión holística, el proyecto se lleva a cabo a través de cuatro líneas paralelas: administrativa, económica, de ingeniería y de calidad. Este documento se enfocará en la línea de calidad, aunque es necesario mostrar una visión inicial que contextualice este tipo de proyectos.

En primer lugar, en la línea **de Ingeniería**, la Fase 1 se enfoca en la definición inicial del proyecto, determinando la tipología y el número de robots necesarios y diseñando las operativas preliminares. En la Fase 2, tras la manifestación de un mayor interés por parte del cliente, se procede a una definición detallada del proyecto. Se corrobora con los proveedores el número exacto de dispositivos necesarios y se diseñan de manera definitiva las operativas, equipos, obras civiles y protocolos. En la Fase 3 se lleva a cabo el seguimiento técnico y se realizan los ajustes necesarios debido a posibles desvíos. Finalmente, en la fase de mantenimiento, se estudian nuevas solicitudes y se corrigen errores que puedan surgir.

La línea **económica** comienza con un presupuesto aproximado en la Propuesta Inicial, que se refina en la Fase 2 de Venta. Durante las fases de implementación, esta línea se ocupa de gestionar las desviaciones presupuestarias que puedan ocurrir. En la fase de postventa, se actúa conforme al manual preestablecido y se evalúan posibles mejoras o pequeños proyectos adicionales.

La línea **administrativa** se basa en la comunicación con el equipo comercial y los posibles proveedores de robots. En la Fase 2, esta línea se encarga de la preparación del contrato legal y la solicitud formal de ofertas a los proveedores. En las Fases 3 y 4, se centra en la comunicación con el cliente y el proveedor, coordinando el alcance de los hitos y la interacción entre departamentos.

Por último, la línea **de calidad**, que será el foco principal de este TFG, comienza en la Fase 1 considerando los aspectos esenciales para las fases posteriores y asesorando al cliente para

asegurar que comprende el funcionamiento del proyecto y que sus requisitos serán cumplidos. En la Fase 2, se identifican y establecen los factores que prevendrán futuros problemas, asegurando los requisitos de calidad del cliente mediante procedimientos necesarios. Durante la Fase 3, se garantiza la correcta ejecución del proyecto mediante el cumplimiento de los objetivos de calidad y una comunicación adecuada, lo cual optimiza los tiempos y asegura un servicio óptimo. Finalmente, en la fase de mantenimiento, se garantiza el retorno de la inversión, se establecen los aseguramientos de calidad y se recopila información útil para la mejora continua de futuros proyectos.

La Tabla 1 explica la implicación de cada línea en cada fase del proyecto, utilizando un formato de tabla para mejorar la visualización y esquematización.

	FASE 1: Propuesta Inicial	FASE 2: Venta, Propuesta Final	FASE 3: Implementación	FASE 4: Postventa y Mantenimiento
Económica	Se realiza un estudio económico previo que será orientativo para conocer el orden de magnitud del coste del proyecto	Se realiza un estudio detallado de los costes económicos con el proveedor escogido y el tiempo previsto para realizar el proyecto. Con toda esta información se crea la propuesta económica definitiva del proyecto.	En esta fase existen una serie de costes no previstos o desviaciones que se sufren durante la ejecución.	Los costes del mantenimiento preventivo se van ejecutando conforme requiere el manual de mantenimiento. Los costes derivados de accidentes y peticiones de mejora se deben analizar como nuevos proyectos más pequeños.
Administrativa	Se comienza con las primeras fases de comunicación directamente con el equipo comercial. Con los proveedores se realiza un primer contacto para actualizar condiciones y precios.	Se procede a darse de alta como proveedor del cliente si es necesario. Se realiza una petición de oferta formal a los proveedores. Se prepara el contrato legal del proyecto.	Comunicación con cliente y proveedor de alcance de hitos en tiempo.	Comunicación desde el departamento de postventa con cliente. Y comunicación con el departamento de postventa del proveedor.
Ingeniería	Definición temprana del proyecto. Necesidades de número de vehículos y tipología que se debería usar para satisfacer las necesidades del proyecto. Diseño de operativas.	Definición detallada y exacta del número de vehículos necesarios. Definición del modelo de vehículo que se usará. Diseño definitivo de operativas y detalles. Definición de las necesidades de equipos adicionales y obras civiles necesarias para la ejecución del proyecto. Definiciones de los protocolos de comunicación con el equipo de IT del cliente.	Seguimiento técnico del proyecto y aplicación de desvíos o cambios que se requieran por imprevistos no tenidos en cuenta en fases anteriores. Estas adaptaciones en caso que sean causadas fuera del alcance del proyecto se deben repercutir al cliente.	Estudio de nuevas solicitudes y análisis de las conclusiones del mantenimiento predictivo.
Calidad	Consideración de aspectos condicionantes en fases posteriores y asesorar apropiadamente al cliente mediante el seguimiento de APQP.	Consideración de factores condicionantes en fases posteriores y establecimiento de los requisitos de calidad adecuados.	Garantizar la correcta ejecución y comunicación para reducir tiempos y asegurar un servicio óptimo.	Garantizar el retorno de la inversión del proyecto, establecer los mantenimientos necesarios y recopilar información para la mejora continua.

Tabla 1. Implicación de las 4 líneas del proyecto. (Elaboración propia)

Para el APQP, es esencial la facilidad de uso y la capacidad de edición para futuras mejoras. Por ello, se han creado dos documentos esenciales: la "Matriz de Planificación y Calidad" y la "Guía de Prevención de Errores".

La Matriz de Planificación y Calidad (en versión reducida en la Tabla 2 y extendida en el Anexo II) reúne todos los factores a considerar en cada fase. Los factores incluyen:

- Subfases dentro de cada fase.
- Evento que marca el comienzo de la fase.
- Impedimentos que indicarían la imposibilidad de asegurar la calidad.
- Evento que marca el final de la fase.
- Requisitos de calidad clave.
- Factores clave para tomar decisiones.
- Documentos con herramientas y técnicas clave.
- Reuniones necesarias.

- Riesgos.
- Oportunidades.
- Pruebas para asegurar la calidad.
- Personal encargado y responsables en la toma de decisiones.
- Áreas funcionales o departamentos implicados.
- Lista de problemas y planes de contingencia.
- Esquema sistematizado.
- Uso de Diagramas de Gantt.
- Documentación generada para el cliente.
- Documentos internos para el seguimiento del proyecto.
- Habilidades necesarias del equipo.
- Procesos y productos utilizados.
- Registro de incidencias para mejora continua.

Estos factores facilitan el seguimiento de los proyectos, aumentan la transparencia, ahorran tiempo en la comunicación, registran la evolución y mejoran futuros proyectos. Además, permiten involucrar a todos los trabajadores en cada decisión, aclarar responsabilidades y diseñar procedimientos de validación y verificación para asegurar el correcto funcionamiento.

La Guía de Prevención de Errores es una lista de problemas y planes de contingencia basada en problemas encontrados en diferentes proyectos y supervisada por mis compañeros. Está estructurada de manera sencilla para que, al comenzar una fase o subfase, se muestren los aspectos relevantes y se sigan como una lista de tareas, asegurando que se cumplan los requisitos y objetivos de calidad del cliente sin olvidar factores clave en fases posteriores.

2.1. Cronología del trabajo realizado

La cronología seguida para la obtención del método es la siguiente:

1. Envío del formulario "LESSONS LEARNED" para capturar experiencias previas relevantes (adjunto en el Anexo III).
2. Recopilación de información de diversas fuentes y definición de la estructura y contenido del APQP.
3. Desarrollo del APQP en forma de tabla detallada, especificando aspectos clave en cada etapa del proyecto.
4. Visita a una planta cliente en proceso de implementación, recopilando información detallada y adaptando el APQP a los desafíos específicos de Moontech. Preparación de un documento de unas 10 páginas de extensión con preguntas clave para guiar la recolección de datos.
5. Procesamiento de los datos recopilados y elaboración de la Guía de Prevención de Errores, además de mejoras en la Matriz de Planificación y Calidad.

6. Revisión de los contenidos por compañeros y técnicos para asegurar la calidad y relevancia de la información.
7. Redacción de la memoria definitiva del TFG, integrando hallazgos, análisis y conclusiones obtenidas a lo largo del proceso.

3. Aplicación del Método

La metodología APQP desarrollada para Moontech está diseñada para guiar cada fase del proyecto de manera efectiva. Antes de comenzar cada fase, se debe consultar y seguir la "Matriz de Planificación y Calidad" y la "Guía de Prevención de Errores". A continuación, se presenta una versión reducida de la Matriz de Planificación y Calidad en la Tabla 2.

	Fase 1: Preventa. Propuesta Inicial	FASE 2: Venta. Propuesta Final	FASE 3: Implementación	FASE 4: Post-implementación y Mantenimiento
STAGE GATE: Evento que marca su comienzo.	Primer contacto con el cliente.	El cliente acepta la Propuesta.	El cliente firma el contrato del proyecto.	Firma del cumplimiento del alcance base de la implantación.
Impedimentos que significarían la cancelación del proyecto.	Las instalaciones no cumplen con los requisitos necesarios, las necesidades del cliente no se corresponden con nuestros servicios, el cliente no cumple las condiciones o atención requerida.	Al estudiar más profundamente el proyecto, encontrarse con algún impedimento descrito en la fase anterior que no se pudo advertir entonces.	Desempeño deficiente del robot, desacuerdos o falta de colaboración del cliente, problemas graves derivados de no realizar un estudio adecuado del proyecto, etc.	Insatisfacción del cliente al no cumplir el alcance y necesidades determinadas, acumulación de problemas graves.
STAGE GATE: Evento que marca su final.	Envío de la primera Propuesta.	Envío de la Oferta final.	Funcionamiento autónomo y final del alcance de la implementación, según lo descrito en el contrato.	Llegada de la fecha establecida según el contrato. La mejora continua no termina.
Requisitos de calidad clave	<ul style="list-style-type: none"> Selección del mejor proveedor Formación del cliente Elaboración de propuestas competitivas y realistas 	<ul style="list-style-type: none"> Selección del mejor proveedor Elaboración de contratos y ofertas competitivas y realistas 	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de los requisitos impuestos por el cliente Cumplimiento de controles de calidad (seguimiento del APQP) 	<ul style="list-style-type: none"> Proporcionar mantenimiento establecido Mantener buena relación con el cliente
Factores clave acerca de los cuales deben ir tomandose decisiones.	<ul style="list-style-type: none"> Selección previa de proveedores de robots Obtención de información: Expectativas del cliente, condiciones de contorno. Estudio del proyecto y diseño de operativas Elección de tipología de robot Cálculo del número de robots necesarios Elaboración de la propuesta inicial. 	<ul style="list-style-type: none"> Selección definitiva de proveedores de robots Obtención de información detallada: espacios y tráfico. Estudio del proyecto y diseño de operativas. Cálculo y verificación del número de robots necesarios Planificación de la cronología y asignación del personal encargado. Elaboración de la oferta y el contrato. 	<ul style="list-style-type: none"> Preparación y desarrollo de software Conexión a la red Mapeado Configuración de rutas Pruebas y aplicación del software Formación Monitorización 	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento programado Actualizaciones de sistemas Feedback del cliente
Documentos con herramientas y técnicas clave para manejar decisiones.	<ul style="list-style-type: none"> Documento "Estudio de Proyecto". Plantillas Propuesta Inicial ("ppt" y "Excel") Guía de Prevención de Errores 	<ul style="list-style-type: none"> Plantilla de Oferta. Lista de detalles a considerar proporcionada por el proveedor de robots. Guía de Prevención de Errores 	<ul style="list-style-type: none"> Entregables y documentos procedentes de la planificación. Reporte de incidencias por parte del cliente. Manuales y otros recursos. Guía de Prevención de Errores 	<ul style="list-style-type: none"> Cláusulas de servicio postventa, manuales de mantenimiento y certificados oportunos (aquellos obligatorios por normativa). Registro de Problemas. Manual de incidencias comunes y cómo gestionarlas, según considere el PM. Guía de Prevención de Errores
Reuniones	<ul style="list-style-type: none"> Primera visita a planta y reuniones pertinentes con el cliente. Reuniones, en caso de que se requieran, con el proveedor de AMRs. 	<ul style="list-style-type: none"> Reuniones con el cliente según sea necesario para conciliar los detalles del proyecto. Reuniones internas según sea necesario para coordinar el diseño del proyecto. Reuniones con el proveedor de robots para estudiar el proyecto en profundidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Entregables y documentos procedentes de la planificación. Reporte de incidencias por parte del cliente. 	<ul style="list-style-type: none"> Contactos puntuales según contrato.

Tabla 2. Matriz de Planificación y Calidad en versión reducida. (Elaboración propia)

La Guía de Prevención de Errores, que se expone a continuación, detalla las diferentes subfases, los problemas específicos y sus soluciones, las cuales deben considerarse para prevenir inconvenientes mayores en el futuro y asegurar la calidad del proyecto. De esta manera, se garantiza una planificación y ejecución eficientes, contribuyendo al éxito continuo de la empresa.

Esta guía es dinámica, lo que permite a la empresa modificarla y actualizarla conforme cambien las operativas o se adviertan nuevos problemas u oportunidades de mejora. Nuevos problemas pueden ser añadidos y aquellos que ya no sean relevantes pueden ser eliminados. Esta flexibilidad asegura que la metodología APQP se mantenga siempre relevante y útil.

3.1. Fase 1: Preventa. Propuesta Inicial

3.1.1. Primer Contacto

- Desconocimiento por parte del cliente sobre el funcionamiento y alcance de la implementación de AGVs y/o AMRs en sus instalaciones, lo que conduce al incumplimiento de las expectativas.

Es fundamental aclarar las expectativas del cliente y explicar detalladamente el funcionamiento y alcance de la implementación. La transparencia es clave para evitar desacuerdos futuros y garantizar la satisfacción del cliente con el proyecto.

- La falta de atención por parte del cliente durante la implementación y en distintas fases del proyecto conlleva problemas de comunicación posterior.

Es necesario informar claramente al cliente sobre las responsabilidades asociadas con la implementación de AMRs o AGVs durante el proyecto y la colaboración que se espera de su parte para garantizar el éxito del mismo.

3.1.2. Visita a Planta y Recopilación de Información

- Información recopilada insuficiente.

El documento de "Estudio de Proyecto" del Anexo IV recoge todos los aspectos a considerar y la información necesaria para realizar un análisis apropiado de la tipología, cantidad y operativa requerida de los robots. Es crucial revisar y consultar previamente esta lista para saber qué aspectos examinar durante la visita y qué información solicitar al cliente.

- Mal acondicionamiento de la zona provoca numerosas incidencias durante la implementación.

Para que los robots puedan operar adecuadamente, las instalaciones deben estar en condiciones óptimas, evitando suelos desnivelados, exceso de polvo, luz directa del Sol, alcantarillas, agujeros, puertas rotas, espacios limitados, suelos demasiado pulidos, etc. Es crucial informar al cliente que los suelos deben ser lo más lisos posible, limpios, sin baches ni obstáculos. Durante la primera visita, es importante inspeccionar el estado de los suelos, tomar fotografías y comunicar qué aspectos necesitan ser arreglados. El cliente debe estar dispuesto a realizar las reformas necesarias para llevar a cabo el proyecto de implantación.

- Detenciones en el funcionamiento de los robots debido a la presencia de pallets con dimensiones o tipologías diferentes a las establecidas.

Es fundamental definir claramente las tipologías y tamaños de pallets, carros o elementos a transportar y asegurarse de cumplir con estas especificaciones. Esto incluye altura y forma de los

tacos del pallet. Los robots no son capaces de reconocer ni transportar bultos para los que no han sido programados.

- Errores de reconocimiento de pallet en pallets negros que provocan interrupciones en la producción.

En ciertas tipologías de robot, los pallets de color negro o de superficie oscura dan problemas a la hora de realizar el reconocimiento de pallet.

- Mala colocación de los elementos a transportar por parte de los operarios ocasiona errores de reconocimiento en los AMRs.

En numerosas ocasiones, las no se colocan adecuadamente en sus posiciones, lo que impide que el robot los reconozca correctamente. Para evitar esto, se suelen instalar “huellas” o sistemas de fijación en las posiciones designadas, lo que asegura que el material a transportar se coloque correctamente. Es crucial que estos sistemas de fijación estén probados y sean fáciles de usar para los operarios; de lo contrario, resultan improductivos y generan más problemas.

3.1.3. Estudio del Proyecto: Elección de Tipología, Diseño de Operativas y Cálculo del Número de Robots

- Problemas graves con el proveedor de robots AMRs y AGVs.

Numerosos problemas en el proyecto pueden surgir debido a una mala elección de los proveedores de los robots que se pretenden implementar. En ocasiones, los dispositivos no funcionan como deberían o surgen problemas inesperados por falta de desarrollo del producto. En muchos casos, los proveedores no pueden ofrecer una formación adecuada debido a la falta de personal con conocimiento técnico sobre los robots. Es común encontrar falta de interés y de soporte, documentación e información insuficiente y desconocimiento del propio producto.

Para evitar esta serie de problemas, es imprescindible testear el robot y conocer su funcionamiento en profundidad antes de implementarlo en un nuevo proyecto. Es necesario probar el robot y recibir una formación adecuada para conocer el producto al detalle, incluyendo el funcionamiento de cada uno de sus elementos. Se debe asegurar que habrá una formación y soporte adecuados, y es fundamental contar con referencias de éxito de proyectos previos con dicho robot. De lo contrario, la probabilidad de que surjan numerosas incidencias, e incluso el fracaso del proyecto, es muy alta. Es importante trabajar con personal experimentado en el uso del robot.

- Procesamiento inadecuado de la información recopilada para diseñar la operativa necesaria de los robots y determinar el número requerido.

Al seguir los pasos detallados en el documento de "Estudio de Proyecto", se garantiza que no se omitan aspectos importantes y que el proyecto se diseñe de manera apropiada.

3.1.4. Envío de la Propuesta Inicial

- Omisión de aspectos importantes en la propuesta

Para asegurar la inclusión de todos los elementos relevantes que el cliente necesita conocer en la primera propuesta, es fundamental seguir los pasos y completar la plantilla apropiadamente. Esto permite identificar y abordar aquellos aspectos que no se hayan considerado previamente, garantizando así la correcta formulación de la propuesta.

3.1.5. Ejemplo de Aplicación

Una empresa manufacturera de electrodomésticos contacta a Moontech con la intención de automatizar el transporte de componentes desde el almacén hasta las diferentes líneas de producción y viceversa. Moontech establece una comunicación, preferiblemente por videollamada, para explicar el funcionamiento y alcance de los proyectos. Posteriormente, coordina y realiza una visita a la planta para recopilar información sobre las condiciones del proyecto y las necesidades específicas del cliente. Con base en los datos recopilados, Moontech elabora una primera propuesta que incluye el uso de una tipología específica de AMRs y un sistema de software para manejar el transporte de componentes. Esta propuesta se presenta en un formato PowerPoint de aproximadamente 25 diapositivas. No se adjunta un ejemplo de la propuesta por solicitud de la empresa, por motivos de confidencialidad; sin embargo, en el Anexo IV se explica sus contenidos y cómo se realizan.

Antes de comenzar con cada fase, el encargado del proyecto consultará la fase correspondiente en la Guía de Prevención de Errores, la cual funciona como una lista de tareas para conocer todos los aspectos que se debe tener en cuenta. De igual manera, la Matriz de Planificación y Calidad servirá como recordatorio de, entre otros factores, reuniones, documentación y requisitos de calidad necesarios, asegurando que no se pase por alto ningún factor importante. Por ejemplo, en el Primer Contacto, siguiendo las instrucciones de la Guía, se asegurará que el cliente comprende completamente el funcionamiento y alcance de un proyecto de Moontech. Una vez cumplidos estos puntos, se procederá con la Visita a Planta y la Recopilación de Información, asegurando que se cumplen todos los requisitos necesarios, que implicarán el ahorro de tiempo y recursos y el aumento de efectividad en las comunicaciones con el cliente. Este proceso se repetirá en el Estudio del Proyecto y en el Envío de la Propuesta Inicial. Si en el transcurso de cada fase se detecta un nuevo problema o una oportunidad de mejora, esta será incluida en la Guía de Errores para futuras referencias, incrementando así las posibilidades de éxito de los próximos proyectos.

3.2. Fase 2: Venta. Propuesta Final

3.2.1. Replanteamiento del Proyecto

- Incidencias por malentendidos sobre el alcance del proyecto y sus objetivos.

Es crucial aclarar desde el principio qué se va a hacer en detalle, qué podemos ofrecer y cuáles son las expectativas exactas del cliente. El proyecto debe estar claramente definido desde el inicio para evitar problemas durante la implantación. Si surgen cambios que afecten al tiempo o los materiales, estos deberán ser comunicados y documentados de inmediato.

- Imposibilidad de operar correctamente debido a la falta de espacio para los AMRs.

Es crucial calcular adecuadamente los espacios necesarios para los AMRs, incluyendo áreas de carga y descarga, separación entre zonas, zonas de cargadores, ángulos de giro, entre otros. Se deben consultar las especificaciones del robot y cumplirlas rigurosamente.

- Errores en el cálculo del número de AMRs requerido y la estimación de la concentración de tráfico, que causan atascos y paradas de suministro.

Tras el estudio inicial del número de AMRs, es vital recalcular esta estimación considerando la disposición del espacio que afecta al tráfico de los dispositivos y puede provocar cuellos de botella. Esto asegurará que se implemente el número adecuado de robots para cubrir las cadencias requeridas sin excederse, lo cual podría aumentar innecesariamente el costo del proyecto. Es esencial que el proveedor del AMR garantice que el número de robots seleccionado es el adecuado, teniendo en cuenta todos los detalles del proyecto.

- Inconvenientes en el desarrollo del software y las conexiones entre servidores.

El equipo de desarrollo debe comprender el funcionamiento deseado por el cliente y conocer a los responsables de la gestión de cada conexión. Esto es crucial para diseñar la operativa y las conexiones necesarias durante el desarrollo del proyecto. Además, es esencial asegurar que se dispondrá de las licencias y facilidades requeridas, proporcionadas por el cliente.

3.2.2. Diseño Detallado del Proyecto

- Inconvenientes debido a una mala definición del rol o a la falta de información de la persona encargada de coordinar los distintos departamentos del cliente.

Es esencial definir claramente quién es el responsable, por parte del cliente, de coordinar el proyecto. Preferiblemente debe ser una sola persona, para facilitar la comunicación. Esta persona debe tener la capacidad de conocer, coordinar y tomar decisiones en nombre del cliente. Para ello, debe estar familiarizada con la producción y fabricación, formar parte de la dirección y conocer el trabajo de los operarios y los procedimientos que se van a automatizar.

- Problemas debido a la falta de coordinación interna previa al proyecto, que derivan en complicaciones no previstas.

Antes de enviar la propuesta definitiva del proyecto al cliente, es esencial determinar qué miembros de la empresa se encargarán de su ejecución y consultar con ellos los detalles. De este

modo, cada uno podrá aportar sus observaciones y señalar posibles problemas, permitiendo su prevención en fases futuras.

3.2.3. Oferta y Propuesta Final

- Información incompleta sobre ciertos detalles

Una manera para garantizar que todos los requisitos necesarios estén cubiertos es seguir los pasos y completar la plantilla de la propuesta definitiva. Esta medida puede revelar dudas o detalles inconclusos que no se habían considerado previamente, permitiendo así asegurar la cobertura completa de todos los requisitos necesarios.

3.2.4. Ejemplo de Aplicación

Después de recibir la primera propuesta, la empresa manufacturera muestra su interés, comparando esta con otras ofertas recibidas de empresas competidoras. El cliente solicita ajustes específicos para adecuar el sistema a sus necesidades operativas, y Moontech replantea el proyecto, presentando un diseño detallado que incluye rutas optimizadas para los AMRs, las modificaciones necesarias en la infraestructura y un plan de implementación, entre otros aspectos. La propuesta final, un documento PDF de aproximadamente 35 páginas, expone todos los detalles del proyecto y los aspectos legales del contrato. La empresa recibe la propuesta y Moontech queda a la espera de la firma del contrato para iniciar el proyecto.

De nuevo, por motivos de confidencialidad, no se puede mostrar esta propuesta en el TFG.

Al comienzo de cada fase, se consultará la Guía de Prevención de Errores y, en su caso, la Matriz de Planificación y Calidad, para asegurar la calidad y requerimientos. Si es necesario, los documentos se modificarán para preparar mejor los próximos proyectos.

3.3. Fase 3: Implementación

3.3.1. Preparación y Desarrollo de Software

- Problemas de tráfico y particularidades de la planta.

Previa a la implantación, es necesaria una valoración inicial exhaustiva de los riesgos dentro de la planta, con un objetivo de “riesgo 0”. Algunos ejemplos de estas particularidades pueden ser la creación de cuellos de botella por la distribución del tráfico o la disposición espacial de las zonas con más circulación.

- Falta de cooperación por parte de los operarios.

Garantizar la colaboración de los trabajadores de la planta y un ambiente laboral óptimo. Es esencial remarcar que la ocupación de Moontech es ayudar y facilitar las actividades del cliente; los operarios deben saberlo y es necesario mantener una buena relación con ellos. Además, la

formación de los operarios debe ser sencilla y concreta, para facilitarles la labor y no acarrearles más trabajo.

- Retrasos inesperados y falta de transparencia entre el personal.

Es crucial anticiparse a posibles demoras. Asimismo, resulta fundamental practicar la sinceridad, reconociendo los errores y brindando explicaciones claras sobre los retrasos que puedan surgir.

3.3.2. Conexión a la Red

- La mala conexión a la red en algunas rutas provoca errores habituales en el funcionamiento.

Es decisivo asegurar que no se producirán desconexiones de la flota de robots en su trasiego por las diferentes áreas de las instalaciones. Para ello, se debe hacer un estudio de señal e instalar los puntos de acceso necesarios.

Además, hay que ratificar que no existirán caídas en el sistema de conexiones del cliente; de lo contrario, los AMRs no podrán funcionar.

3.3.3. Mapeado

- Deslocalización de los AMRs respecto a sus referencias y problemas con los “remapeos”.

Se soluciona confeccionando el mapa de una sola vez y dedicando el tiempo necesario a hacer una correcta limpieza del entorno que permita el reconocimiento conveniente de las superficies que escanea el dispositivo SLAM. Habitualmente, es imperativo retirar objetos móviles o aquellos que se prevén que van a ser móviles, como los Poka-yokes.

Es fundamental corroborar que existe un índice de localización de, al menos, 0.85 en todas las rutas. Si es necesario, para aumentar este índice se puede instalar elementos estáticos a lo largo del tiempo o reflectores y balizas, los cuales son una opción fiable para la apropiada localización del robot.

- Falta de precisión en el posicionamiento del robot en el mapa en el momento de la carga.

El AMR requiere una alta precisión para entrar a la posición de carga debido a que las pastillas de alimentación del cargador son de tamaño reducido. Por lo tanto, es crucial disponer de referencias fiables en los entornos próximos de los cargadores, por ejemplo, mediante la instalación de reflectores en las en lugares próximos.

3.3.4. Configuración de Rutas

- Accidentes ocasionados por confusiones en el reconocimiento de pallets.

Es vital configurar correctamente el diseño de la planta en el software del robot. Conviene colocar líneas restrictivas, o las limitaciones pertinentes, que eviten que el dispositivo se lleve por delante objetos cuando no reconoce la carga para evitar accidentes.

3.3.5. Pruebas y Aplicación del Software

- Los requisitos para las tareas de desarrollo de software que surgen durante la implementación no son realistas, lo que genera problemas en la estimación del tiempo y el presupuesto del proyecto, ya que finalmente se requieren muchas más horas de las previstas.

Es crucial que la persona encargada de definir las tareas de desarrollo tenga la experiencia y los conocimientos adecuados sobre los procesos de desarrollo y se apoye en su equipo para la toma de decisiones. Además, es fundamental contar con una metodología de trabajo bien estructurada.

3.3.6. Formación

- Problemas relacionados con la colocación por parte de operarios de cargas que posteriormente recogerán los AMRs.

Implementar sistemas de fijación y verificar que todas las marcas de las diferentes posiciones están bien colocadas. Para ello, aclarar a los operarios y carretilleros la importancia de colocar adecuadamente los elementos a transportar en sus posiciones, para facilitar el trabajo de los AMRs.

- Desajuste de cables, tornillos y escáneres, que acarrean problemas más graves.

Es crucial garantizar el correcto funcionamiento de todos los componentes y llevar a cabo un mantenimiento predictivo adecuado de los AMRs. Por ejemplo, los escáneres pueden obstruirse con el polvo, por lo que es necesario realizar una limpieza periódica. La frecuencia de esta limpieza dependerá del entorno de trabajo, la cantidad de suciedad presente, la calidad de los suelos y la presencia de vibraciones.

3.3.7. Monitorización

- Retrasos en el tiempo estimado para la monitorización del funcionamiento del proyecto

Es importante considerar que el estado de las instalaciones y las condiciones ambientales en la planta pueden influir significativamente en el número de imprevistos y, por ende, en el tiempo necesario para la monitorización. Factores como la suciedad, la falta de colaboración de los operarios, la mala calidad del suelo y las vibraciones que esta provoca pueden afectar negativamente el tiempo requerido para asegurar el correcto funcionamiento de la implementación.

3.3.8. Ejemplo de Aplicación

Una vez aceptado y firmado el contrato por parte del cliente, se inicia la fase 3 de Implementación, cuyo seguimiento se realizará gracias a la Guía de Prevención de Errores, que permitirá conocer aquellos requisitos que se deben cumplir en cada subfase, que garanticen que se han realizado correctamente.

Moontech comienza realizando el pedido de los robots al proveedor elegido y desarrollando el software necesario para integrarlos con los sistemas de gestión de la planta de la empresa manufacturera. Se lleva a cabo la instalación física de los AMRs, la conexión a la red y la configuración de las estaciones. El mapeado de la planta se realiza utilizando tecnología SLAM para definir las rutas precisas. Se configuran las rutas y se realizan pruebas exhaustivas del sistema. Además, Moontech ofrece sesiones de formación para los operadores y técnicos de la empresa, asegurando que estén capacitados para manejar el nuevo sistema. Finalmente, se monitoriza el desempeño del sistema para realizar ajustes y asegurar que funcione de acuerdo con las especificaciones acordadas. Las incidencias encontradas durante la implementación se incluyen en la Guía, dentro de la subfase correspondiente, para evitar que se repitan en futuras implementaciones.

3.4. Fase 4: Postventa y Mantenimiento

3.4.1. Mantenimiento

- Los escáneres del robot pueden confundir la suciedad acumulada con obstáculos.

Es importante mantener la limpia y correcto nivelado de los escáneres para evitar falsos positivos que ocasionan la parada intempestiva del robot. La periodicidad de la limpieza depende de la naturaleza del ambiente.

3.4.2. Actualizaciones

- Algunas actualizaciones del software de los robots pueden resultar contraproducentes y generar problemas que no existían previamente

Los robots reciben continuas actualizaciones del proveedor, y en ocasiones, estas actualizaciones provocan problemas debido a la falta de testeo adecuado, la inmadurez del software, o el desconocimiento de los parámetros que deben ser modificados. Para evitar estos inconvenientes, es crucial probar las actualizaciones fuera del entorno de producción para asegurarse de su correcto funcionamiento y determinar si realmente es necesario implementar las últimas versiones. Contar con personal experimentado y mantener una buena comunicación y soporte por parte de los proveedores de robots es de gran ayuda en estos casos.

3.4.3. Retroalimentación

- La falta de seguimiento de problemas conduce a malentendidos con el cliente, dificultades en la estimación de costos de mantenimiento y confusiones sobre quién es responsable del problema.

Es necesario registrar los problemas ocurridos cronológicamente para evitar malentendidos, mejorar las estimaciones de costos, recopilar información que ayude a prevenir problemas en el futuro y evaluar adecuadamente el progreso del proyecto.

3.4.4. Ejemplo de Aplicación

Tras la implementación exitosa del sistema de AMRs y el software desarrollado, el cliente indica pequeñas disconformidades que Moontech soluciona rápidamente. Una vez satisfecho, el cliente firma el cumplimiento del alcance base de la implementación. Estas pequeñas disconformidades se registran en la Guía de Prevención de Errores para evitar esta pérdida de tiempo en futuros proyectos. Moontech ofrece servicios de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar el funcionamiento continuo del sistema, y se realizan actualizaciones de software para mejorar la eficiencia y añadir nuevas funcionalidades. Moontech mantiene un canal abierto de comunicación con la empresa manufacturera para recibir retroalimentación y realizar mejoras continuas. Dos años después de la implementación, la empresa reporta una reducción significativa en los incidentes en el transporte de componentes y una disminución en los costos operativos, demostrando el éxito del proyecto.

4. Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

El proyecto desarrollado no solo busca optimizar y automatizar procesos industriales, sino que también se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas. En particular, este proyecto contribuye a los siguientes objetivos:

ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico

Meta 8.2: Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación

Moontech promueve niveles más elevados de productividad económica al introducir tecnologías avanzadas de automatización en la logística interna de las empresas. La implementación de AGVs y AMRs diversifica y moderniza los procesos industriales, centrándose en sectores con gran valor añadido. Al utilizar robots móviles y desarrollar soluciones de software innovadoras, Moontech ayuda a las empresas a mejorar su eficiencia operativa y competitividad en el mercado.

Meta 8.8: Proteger los derechos laborales y promover un entorno de trabajo seguro y sin riesgos

La automatización de procesos logísticos mediante AGVs y AMRs contribuye a crear un entorno de trabajo más seguro y sin riesgos. Estos robots realizan tareas repetitivas y potencialmente peligrosas, reduciendo la exposición de los trabajadores a riesgos laborales. Además, Moontech se compromete a proteger los derechos laborales y promover condiciones de trabajo seguras para todos los empleados, incluidos los trabajadores migrantes y aquellos con empleos precarios, mediante la implementación de políticas de seguridad y formación adecuada.

ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura

Meta 9.4: Modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles

El enfoque de Moontech en la modernización de infraestructuras industriales mediante la automatización contribuye directamente a la sostenibilidad del sector. Al utilizar recursos de manera más eficiente y promover la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios, Moontech apoya la transición hacia industrias más sostenibles. La implementación de soluciones tecnológicas avanzadas mejora la eficiencia operativa y reduce el impacto ambiental al optimizar el uso de energía y recursos.

Este enfoque integral permite a Moontech cumplir con los estándares de calidad más altos y contribuir positivamente a los ODS, fortaleciendo su compromiso con el desarrollo sostenible y el bienestar de sus empleados y la comunidad en general.

5. Conclusiones

Los objetivos establecidos en este TFG se han cumplido satisfactoriamente. La implementación de una Guía de Prevención de Errores y una Matriz de Planificación y Calidad detallada ha permitido alcanzar los objetivos principales: desarrollar un proceso estructurado de aseguramiento de la calidad inspirado en las metodologías de APQP, específico para la implementación de AGV y AMR en Moontech, adaptado a las necesidades de la empresa; e identificar áreas de mejora y requisitos clave para la implementación de AGV y AMR en la logística industrial.

Además de los objetivos principales, se han cumplido otros objetivos secundarios como la creación de un plan de mejora continua, el desarrollo de un modelo para la formación de nuevos integrantes en la empresa, la aportación de valor a los proyectos de Moontech y la ayuda a los trabajadores en el seguimiento de los proyectos, proporcionando transparencia y una visión general.

Resumidamente, este TFG se basa en la implementación de una Guía de Prevención de Errores y una Matriz de Planificación y Calidad detallada, que establecen un marco robusto para planificar, ejecutar y monitorizar proyectos de automatización logística con un enfoque sistemático en la calidad y la satisfacción del cliente. La inmadurez de los procesos en el sector y la rápida aparición de nuevas tecnologías presentan desafíos significativos, pero también ofrecen oportunidades únicas para innovar y mejorar continuamente. Este TFG ha subrayado la importancia de establecer procedimientos claros y detallados que anticipen y prevengan posibles problemas, garantizando así la eficiencia y efectividad de las implementaciones. Asegurar que cada fase del proyecto cumpla con los más altos estándares de calidad no solo reduce costos y minimiza retrabajos, sino que también fortalece la relación con los clientes, generando confianza y satisfacción. Este enfoque integral y preventivo prepara a la empresa para los desafíos actuales y la posiciona favorablemente para enfrentar las demandas futuras de la automatización logística.

Las contribuciones de este trabajo incluyen la creación de una Guía de Prevención de Errores y una Matriz de Planificación y Calidad detallada para el aseguramiento de calidad en proyectos, el estudio y la descripción del funcionamiento, bases y líneas de un proyecto, la explicación de fundamentos básicos de la empresa (en el Anexo I) y la descripción de cómo realizar el estudio de proyectos (en el Anexo IV). Estas aportaciones pueden servir de ayuda para cualquier integrante que necesite plantear una visión holística del proyecto, especialmente para nuevos integrantes en la empresa, para quienes puede servir como una herramienta de instrucción, proporcionándoles una comprensión clara de las fases del proyecto, las operativas de la empresa y los errores comunes que deben evitarse, proporcionando un valor extra que antes no existía en la empresa. El modelo se ha planteado de manera genérica para cualquier proyecto de Moontech, por lo que es adaptable y modificable de manera sencilla, tanto para nuevos proyectos específicos como para ser utilizado de manera genérica en todos los proyectos. Puede ser realmente útil para

asegurar la calidad y el cumplimiento de los procesos deseados, y también permite registrar la retroalimentación de manera sencilla y efectiva

Esta metodología ya ha comenzado a ser utilizada, sin embargo, todavía es temprano para sacar conclusiones definitivas, ya que un proyecto de esta envergadura tarda años en completarse. Algunas de las aportaciones de mi trabajo se utilizan de manera habitual en las labores de la empresa, como puede ser la metodología desarrollada para el estudio inicial de proyectos incluida en el Anexo IV, especialmente el Modelo en Excel del cálculo del número de AGVs necesarios para el proyecto.

Las líneas futuras de este proyecto podrían incluir su informatización y digitalización para mejorar la efectividad, visualización y accesibilidad. Además, sería conveniente que, conforme se vaya usando, se actualice y se mejore en cualquier aspecto necesario. En caso de ser requerido, podrían crearse nuevos documentos o desarrollarse aquellos aspectos que resulten más relevantes. La metodología debería evolucionar paralelamente con el desarrollo del sector.

En mi opinión, este trabajo puede ser realmente útil para orientar y realizar el seguimiento del proyecto y de los procesos de calidad implementados. Es un documento que aporta un valor adicional a la empresa, sirviendo como una fuente de información que antes no existía y que puede actuar como una herramienta de formación muy valiosa para los nuevos integrantes.

Aunque no ha sido un problema en sí mismo, ha resultado complicado obtener la atención de compañeros que están ocupados con sus tareas diarias. La colaboración de otros miembros de la empresa como fuente de información ha sido clave en este trabajo. A partir de esta experiencia, he aprendido la importancia de preparar los procedimientos de recolección de información de manera que sean lo más efectivos posible y consuman el mínimo tiempo de los compañeros. Esto es fundamental para no interferir en su trabajo, mantener un buen ambiente en la empresa y asegurar que comprendan que este proyecto, a largo plazo, les será de gran ayuda.

6. Anexos

6.1. Anexo I. Fundamentos básicos

6.1.1. Conceptos clave

En primer lugar, hay que conocer diferentes términos comúnmente utilizados:

- **AGVs** (Automated Guided Vehicles): Son vehículos autónomos guiados que siguen rutas predefinidas, utilizados en logística y transporte de materiales. A pesar de que los AGVs son aquellos que necesitan una ruta previamente definida, es un término comúnmente aceptado en el entorno industrial para **cualquier tipo de vehículo autónomo utilizado en logística y transporte de materiales**.
- **AMRs** (Autonomous Mobile Robots): Son robots móviles autónomos más flexibles que los AGVs, capaces de navegar en entornos dinámicos y tomar decisiones en tiempo real.
- **SLAM** (Simultaneous Localization and Mapping): Es un método que permite a los AMRs construir un mapa de su entorno y determinar su posición en tiempo real.
- **Huellas**: en algunos casos, se utilizan marcas o pequeños relieves en el suelo que indican las posiciones donde los operarios deben colocar los contenedores para asegurar la posición y que los robots los puedan recoger.

6.1.2. Tipologías de Robots

El robot escogido para realizar el proyecto depende de muchas variables: precios, funcionalidades, dimensiones, capacidades, ambientes de trabajo, morfología, fabricantes, modelos, etc.

A continuación, se muestran algunos tipos de robots que se pueden utilizar:

- AGV de arrastre. Convencional y tipo Tow Tractor. (Ilustración 4)



Ilustración 4. Ejemplos de AGV de arrastre. (Fuente: Moontech)

- AMR Mouse. Con plataforma elevadora de cargas. (Ilustración 5)



Ilustración 5. Ejemplo de AMR tipo mouse. (Fuente: HikRobotics)

- AMR Forklift. Tipo apilador para diferentes alturas y tipo transpaleta para transportes de “suelo a suelo”. (Ilustración 6)



Ilustración 6. Ejemplos de AMRs Forklift (Fuente: Moontech y Seer Robotics)

- AMR Contrapesada. Para mayores cargas y sin brazo de soporte. (Ilustración 7)



Ilustración 7. Ejemplo de AMR Contrapesada (Fuente: VisionNav)

- AMR Carretilla. Para velocidades, alturas y cargas mayores. (Ilustración 8)



Ilustración 8. Ejemplo de AMR Carretilla (Fuente: VisionNav)

- AMR Tow Tractor. (Ilustración 9)



Ilustración 9. Ejemplo de AMR Tow Tractor (Fuente: VisionNav)

- AMR a medida para el proyecto. Para grandes tonelajes o especificaciones concretas. (Ilustración 10)



Ilustración 10. Ejemplo de AMR a medida (Fuente: DTA)

- Otras tipologías menos comunes:
 - AMR Retráctil. Para grandes alturas y diferentes especificaciones. (Ilustración 11)



Ilustración 11. Ejemplo de AMR Retráctil (Fuente: VisionNav)

- AMR con Brazo. Para aplicaciones muy concretas. (Ilustración 12)



Ilustración 12. Ejemplo de AMR con brazo robótico (Fuente: IPLUSMOBOT)

6.1.3. Tipos de carga

La forma de transportar las cargas es muy amplia. A continuación, 5 ejemplos de posibilidades de transporte. (Ilustración 13)

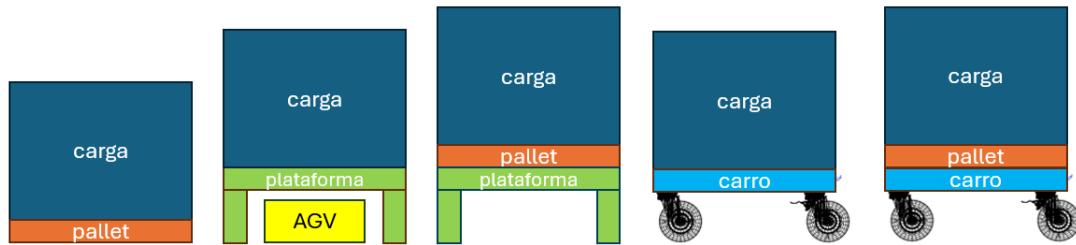


Ilustración 13. Ejemplos de posibilidades de transporte. (Elaboración Propia)

Los proyectos pueden ser muy diversos y puede haber formas de transporte diferentes a las representadas.

Además, se ha de tener en cuenta que se tendrán que transportar contenedores que no lleven carga. Es decir, el robot puede trasladarse con contenedor lleno, con contenedor vacío o sin contenedor.

Conocer el tipo de contenedor es esencial a la hora de elegir la tipología de robot a utilizar. Por ejemplo:

- El Forklift transpaleta solo puede mover de suelo a suelo, por lo que solo es capaz de mover el primer tipo.
- El tipo mouse (representado de color amarillo en la imagen) puede llevar plataformas y carros, pero no pallets. Las dimensiones de los contenedores son muy importantes porque los rangos son muy ajustados.
- El AGV tipo arrastre solo puede llevar carros.
- Forklift apilador puede llevar cualquiera de los tipos expuestos.

6.2. Anexo II. Matriz de Planificación y Calidad, versión extendida

Esta tabla (Tabla 3 y 4) es parte del modelo de aseguramiento de la calidad inspirado en APQP, y considera todos los aspectos relevantes según la bibliografía consultada (*Software as a Communication Platform, Entendiendo el APQP: Planificación Avanzada para la Calidad del Producto, The Relevance of Pro4Plast*). El documento actúa como un recordatorio de requisitos y establecimiento de factores clave, permitiendo su consulta para asegurar que no se pase por alto ningún aspecto importante. Además, es un documento modificable que facilita la mejora continua.

	Fase 1: Preventa. Propuesta Inicial	FASE 2: Venta. Propuesta Final	FASE 3: Implementación	FASE 4: Post-Implementación y Mantenimiento
STAGE GATE: Evento que marca su comienzo.	Primer contacto con el cliente.	El cliente acepta la Propuesta.	El cliente firma el contrato del proyecto.	Firma del cumplimiento del alcance base de la implantación.
Impedimentos que significarían la cancelación del proyecto.	Las instalaciones no cumplen con los requisitos necesarios, las necesidades del cliente no se corresponden con nuestros servicios, el cliente no cumple las condiciones o atención requerida.	Al estudiar más profundamente el proyecto, encontrarse con algún impedimento descrito en la fase anterior que no se pudo advertir entonces.	Desempeño deficiente del robot, desacuerdos o falta de colaboración del cliente, problemas graves derivados de no realizar un estudio adecuado del proyecto, etc.	Insatisfacción del cliente al no cumplir el alcance y necesidades determinadas, acumulación de problemas graves.
STAGE GATE: Evento que marca su final.	Envío de la primera Propuesta.	Envío de la Oferta final.	Funcionamiento autónomo y final del alcance de la implementación, según lo descrito en el contrato.	Llegada de la fecha establecida según el contrato. La mejora continua no termina.
Requisitos de calidad clave	<ul style="list-style-type: none"> Selección del mejor proveedor Formación del cliente Elaboración de propuestas competitivas y realistas 	<ul style="list-style-type: none"> Selección del mejor proveedor Elaboración de contratos y ofertas competitivas y realistas 	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de los requisitos impuestos por el cliente Cumplimiento de controles de calidad (seguimiento del APQP) 	<ul style="list-style-type: none"> Proporcionar mantenimiento establecido Mantener buena relación con el cliente
Factores clave acerca de los cuales deben ir tomando decisiones.	<ul style="list-style-type: none"> Selección previa de proveedores de robots Obtención de información: Expectativas del cliente, condiciones de contorno. Estudio del proyecto y diseño de operativas Elección de tipología de robot Cálculo del número de robots necesarios Elaboración de la propuesta inicial. 	<ul style="list-style-type: none"> Selección definitiva de proveedores de robots Obtención de información detallada: espacios y tráfico. Estudio del proyecto y diseño de operativas. Cálculo y verificación del número de robots necesarios Planificación de la cronología y asignación del personal encargado. Elaboración de la oferta y el contrato. 	<ul style="list-style-type: none"> Preparación y desarrollo de software Conexión a la red Mapeado Configuración de rutas Pruebas y aplicación del software Formación Monitorización 	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento programado Actualizaciones de sistemas Feedback del cliente
Documentos con herramientas y técnicas clave para manejar decisiones.	<ul style="list-style-type: none"> Documento "Estudio de Proyecto". Plantillas Propuesta Inicial ("ppt" y "Excel") Guía de Prevención de Errores 	<ul style="list-style-type: none"> Plantilla de Oferta. Lista de detalles a considerar proporcionada por el proveedor de robots. Guía de Prevención de Errores 	<ul style="list-style-type: none"> Entregables y documentos procedentes de la planificación. Reporte de incidencias por parte del cliente. Manuales y otros recursos. Guía de Prevención de Errores 	<ul style="list-style-type: none"> Cláusulas de servicio postventa, manuales de mantenimiento y certificados oportunos (aquellos obligatorios por normativa). Registro de Problemas. Manual de incidencias comunes y cómo gestionarlas, según considere el PM. Guía de Prevención de Errores
Reuniones	<ul style="list-style-type: none"> Primera visita a planta y reuniones pertinentes con el cliente. Reuniones, en caso de que se requieran, con el proveedor de AMRs. 	<ul style="list-style-type: none"> Reuniones con el cliente según sea necesario para conciliar los detalles del proyecto. Reuniones internas según sea necesario para coordinar el diseño del proyecto. Reuniones con el proveedor de robots para estudiar el proyecto en profundidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Entregables y documentos procedentes de la planificación. Reporte de incidencias por parte del cliente. 	<ul style="list-style-type: none"> Contactos puntuales según contrato.
Riesgos	Rechazo de la propuesta, lo que implica una pérdida de tiempo y dinero.	Rechazo de la oferta, que significa una pérdida de tiempo (y por ende una pérdida de dinero) mucho mayor.	Prolongación de las fechas establecidas, problemas con el funcionamiento del robot, problemas debido a un inadecuado estudio del proyecto, etc. Lo cual puede llevar al incumplimiento del contrato.	<ul style="list-style-type: none"> Cláusulas de servicio postventa, manuales de mantenimiento y certificados oportunos (aquellos obligatorios por normativa). Registro de Problemas. Manual de incidencias comunes y cómo gestionarlas, según considere el PM.
Oportunidades	Possible aceptación de un nuevo proyecto.	Aceptación definitiva de un proyecto, lo que implica un beneficio económico y crecimiento de la empresa.	Ganar experiencia, obtención de un caso de éxito que servirá de publicidad, cumplir con las expectativas del cliente y lograr su fidelidad.	Conseguir información que servirá para mejorar en el futuro, mantener buenas relaciones con los clientes, beneficio económico a través del mantenimiento, publicidad.

Tabla 3. Matriz de Planificación y Calidad en versión extendida, parte 1/2 (Elaboración propia)

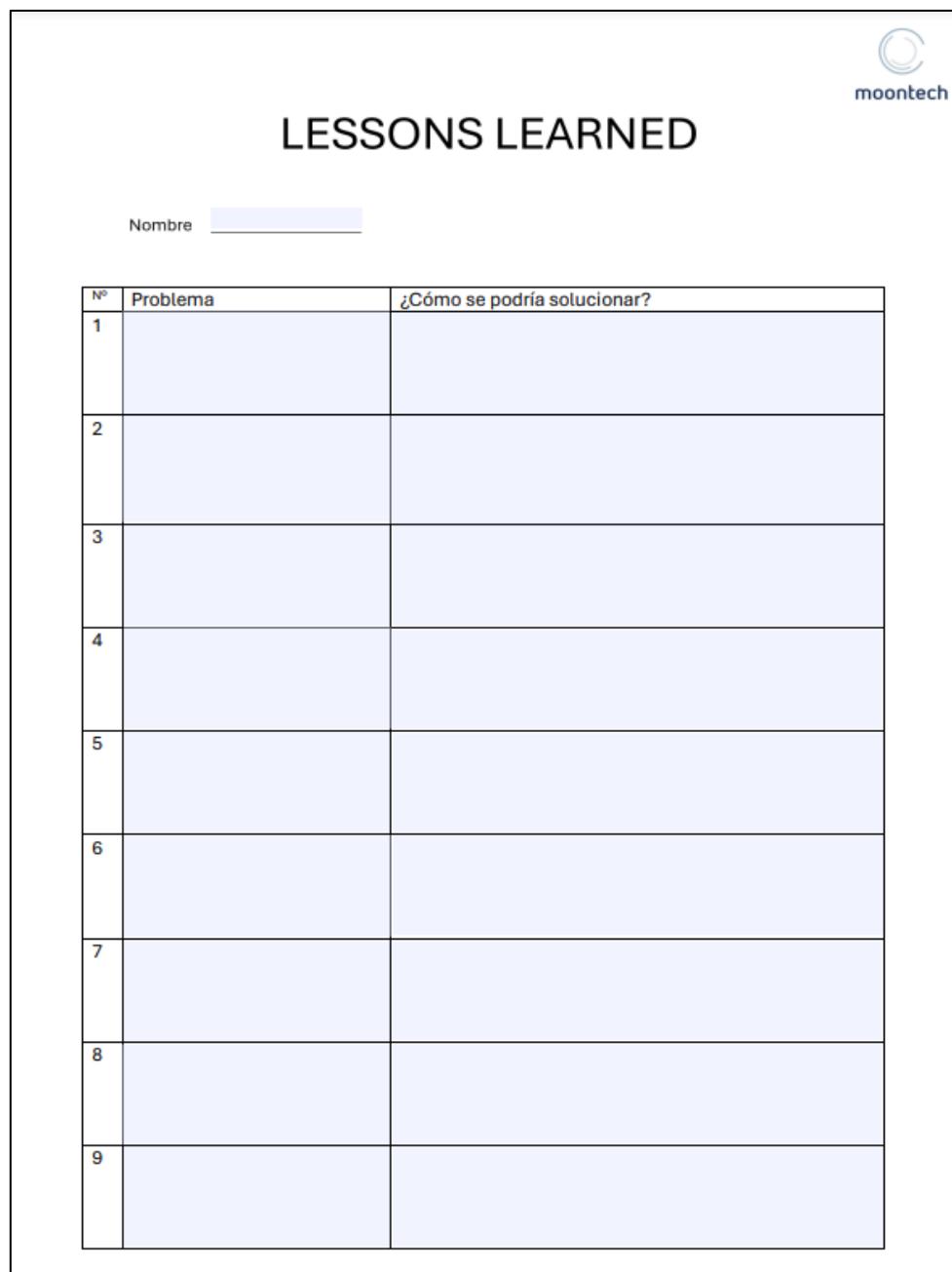
Subfases	1.1 Primer contacto 1.2 Visita a Planta y Recopilación de Información 1.3 Estudio del Proyecto 1.4 Envío de la Propuesta Inicial	2.1 Replanteamiento del Proyecto 2.2 Diseño Detallado del Proyecto 2.3 Oferta y Propuesta Final	3.1 Fase de preparación y desarrollo de software 3.2 Conexión a la red 3.3 Mapeado 3.4 Configuración de rutas 3.5 Pruebas y aplicación del software 3.6 Formación 3.7 Monitorización	4.1 Mantenimiento 4.2 Actualizaciones 4.3 Retroalimentación
Pruebas para asegurar correcto funcionamiento. Evaluación de rendimiento. Controles de calidad	Seguimiento del APQP, cumplimiento de procedimientos establecidos, cumplimentación de plantillas, revisión por parte de los proveedores, simulación sencilla en su caso, revisión por parte del jefe de operaciones.	Seguimiento del APQP, cumplimiento de procedimientos establecidos, cumplimentación de plantillas, revisión más a fondo por parte de los proveedores, simulaciones correspondientes, revisión por los diferentes departamentos.	Seguimiento del APQP, revisiones periódicas establecidas, cumplimiento de Sprints, realización de las pruebas correspondientes, seguir manual de implantación, reuniones diarias "Daily", reuniones con cliente.	Seguimiento del APQP, cumplimiento de mantenimiento preventivo, seguimiento estadístico.
Personal encargado y responsables en la toma de decisiones.	Departamento comercial e ingeniería de proyectos. Por parte del cliente, interlocutor o PM autorizado y competente de la empresa, que tenga conocimiento sobre requerimientos del cliente, capacidad financiera y el funcionamiento interno de la organización para precisar las acciones necesarias.	Departamento comercial, ingeniería de proyectos y project managers de ambas lados.	Project managers de ambas lados, y los equipos técnicos designados.	Departamento de customer service, incidencias y/o mantenimiento de ambas partes que se hayan designado.
Áreas funcionales o departamentos implicados en el diseño, ingeniería, compras, producción y control de calidad.	Comercial, Ingeniería.	Ingeniería, comercial, compras, gestión de proyectos.	Ingeniería, desarrollo, implantación, gestión de proyectos.	Ingeniería, customer service.
Lista de problemas y sus planes de contingencia en la fase correspondiente.	Incluidos en Guía de Prevención de Errores	Incluidos en Guía de Prevención de Errores	Incluidos en Guía de Prevención de Errores	Incluidos en Guía de Prevención de Errores
Esquema sistematizado para guiar al usuario.	Guía de Prevención de Errores	Guía de Prevención de Errores	Guía de Prevención de Errores	Guía de Prevención de Errores
Uso de Diagramas de Gantt	Aproximación de la duración de cada fase del proyecto.	Es responsabilidad del PM definir en detalle los tiempos estimados para cada fase y personal requerido.	Los tiempos estimados deben ser ajustados frente a incidencias y cambios para asegurar la entrega.	Calendario de mantenimiento preventivo.
Documentación para el cliente	Presentación de la empresa, hoja de características de los robots, primera propuesta	Propuesta final y su respectivo contrato.	Documentos de seguimiento y objetivos, reporte de incidencias, manuales en su caso.	Manuales de mantenimiento según normativa, contrato con responsabilidades según normativa, lista de errores frecuentes o fallos comunes y un manual de cómo enviarnos o gestionar las incidencias, en su caso.
Documentos internos generados para el seguimiento del proyecto.	Primera Propuesta.	Oferta, contrato y estudios correspondientes.	Entregables procedentes de la planificación con Sprints, documentos para registro de errores, reportes de incidencias por parte del cliente.	Registro de Problemas.
Habilidades necesarias del equipo y requisitos de acceso imprescindibles.	Análisis de soluciones, experiencia en el sector, conocimiento de idiomas para la comunicación con proveedores extranjeros.	Ánálisis de soluciones, experiencia en el sector, conocimiento de idiomas para la comunicación con proveedores extranjeros. Autorización para redactar contratos de alto presupuesto con conocimiento de los requisitos legales necesarios.	Amplio conocimiento del funcionamiento del robot, conocimientos en gestión de proyectos, conocimientos técnicos (operaciones técnicas y de infraestructura, automatismos, mecatrónica, programación, telecomunicaciones, etc), conocimiento de idiomas para la comunicación con proveedores extranjeros. Permisos para acceder a las instalaciones y plataformas de software del cliente.	Amplio conocimiento del funcionamiento del robot, conocimientos técnicos (automatismos, mecatrónica, programación, telecomunicaciones, etc), conocimiento de idiomas para la comunicación con proveedores extranjeros. En su caso, permisos para acceder a las instalaciones y plataformas de software del cliente y del proyecto.
Procesos y productos que se utilizarán.	Selección de proveedores de robots, herramientas de informática (como licencias de software del proveedor).	Selección de proveedores de robots, herramientas de informática (como licencias de software del proveedor)	Repuestos, herramientas, elementos de seguridad (como zapatos de seguridad y chalecos reflectantes), conexión adecuada con asistencia de proveedores, vehículo para transporte de materiales, materiales pertinentes, licencias del software de gestión del proveedor.	Repuestos, herramientas, elementos de seguridad (como zapatos de seguridad y chalecos reflectantes), conexión adecuada con asistencia de proveedores, vehículo para transporte de materiales, materiales pertinentes, licencias del software de gestión del proveedor.
Registro de incidencias para la mejora continua, con el objetivo de la mejora del producto y del proceso de producción.	Desarrollo continuo del APQP con las deficiencias detectadas y con mejoras para resaltar frente a la competencia. Mejora de las plantillas.	Mejora continua del APQP. Mejora de las plantillas.	Documentos para registro de errores. Reportes de incidencias por parte del cliente. Mejora continua del APQP, manuales y otros recursos que servirán para futuros proyectos.	Registro de Problemas. Mejora continua del APQP.

Tabla 4. Matriz de Planificación y Calidad en versión extendida, parte 2/2 (Elaboración propia)

6.3. Anexo III. Lessons Learned

Con el fin de obtener información de la empresa y poder obtener un primer acercamiento con los problemas que existían de manera general, realicé un formulario que llamé “Lessons Learned” (Ilustración 14 y 15), que consiste en un documento PDF con casillas rellenable que envié a mis compañeros para recopilar información mientras me dedicaba al estudio de la bibliografía, con el objetivo de ahorrar tiempos y realizar la estructura del APQP con conocimiento de las problemáticas de la empresa.

A continuación, se muestra en formato imagen:



Formulario Lessons Learned. El formulario se titula 'LESSONS LEARNED' y muestra un cuadro para registrar 9 problemas y sus soluciones. El cuadro tiene 2 columnas: 'Número' y 'Problema' (que incluye la pregunta '¿Cómo se podría solucionar?').

Nº	Problema	¿Cómo se podría solucionar?
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Ilustración 14. Formulario Lessons Learned, parte 1/2 (Elaboración propia)

10		
----	--	--

¿Se identificaron **riesgos** que no se tuvieron en cuenta inicialmente? ¿Cuáles?

¿Qué aspectos se deben **revisar periódicamente**?

¿Hay **reuniones/procedimientos periódicos actualmente** para asegurar la calidad de algún proceso? ¿Cuáles?

¿Qué aspectos de la planificación o **gestión del tiempo** podríamos **mejorar** en el futuro?

¿Hubo alguna **discrepancia entre las expectativas** iniciales y los resultados obtenidos? ¿Por qué?

¿Qué **mejoras** podríamos **implementar** en los procesos o procedimientos para evitar errores en el futuro?

Ilustración 15. Formulario Lessons Learned, parte 2/2 (Elaboración propia)

6.4. Anexo IV. Manual de Estudio Inicial de Proyectos

Este documento de elaboración propia sirve como guía para el usuario en la Fase 1: Preventa y Propuesta Inicial. Ante la falta de documentos que establecieran los procedimientos necesarios para esta primera fase y la dispersión de información relevante, decidí crear este manual. La utilidad de este documento es: recoger lo que he aprendido sobre esta fase, apoyar el modelo desarrollado inspirado en APQP, permitir la introducción de nueva información relevante, y ser útil tanto para principiantes en el estudio inicial de proyectos como para aportar un valor añadido a la empresa.

6.4.1. Obtención de Información

A continuación, se expone una lista de la información que debe ser recogida para realizar un primer estudio del proyecto:

- Explicación del proceso (es necesario entender profundamente el funcionamiento para poder diseñar soluciones).
- Layout de la planta (plano detallado con distancias reales), para conocer las trayectorias y las distancias que se recorrerán.
- Cadencias. Esto es número de movimientos en cada hora que se realizan para cada operativa dispuesta a automatizarse. Cuanto más detallada, mejor para el estudio del proyecto. La distribución de movimientos conviene que sea uniforme con el tiempo, de lo contrario, se deberá trabajar con las cadencias de las horas más exigentes.
- Cantidad de horas de trabajo al día.
- Imágenes de:
 - Material a transportar lleno y vacío.
 - Escenario (pasillos, suelos, ambiente, etc.)
 - Posiciones donde se depositarán las cargas (estanterías, suelos, plataformas, etc.)
- Dimensiones detalladas (en CAD a poder ser) de los carros/pallets/plataformas sobre las que se transportará el material.
- Dimensiones de: materiales, puertas, cuestas, zonas de carga y descarga, etc.
- Peso máximo a transportar.
- Todos los tipos de material que se van a transportar.
- Especificaciones o requisitos impuestos por el cliente para el proyecto.
- Existencia de puertas, rampas, obstáculos, etc.
- Existencia de trayectorias outdoor. Es importante que las trayectorias sean indoor (techadas y con paredes, debido a problemas por lluvia, condensación, niebla, humo, etc.), de lo contrario las opciones serán muy limitadas.
- Otros detalles:

- Los pallets de color negro mate son problemáticos con el reconocimiento de los robot Forklift.
- En caso del uso de pallets, ¿se debe entrar por el lado abierto o por el lado cerrado?
- ¿Las cadencias son regulares o se concentran en unas horas concretas? Esto último provocaría un alto número de robots necesarios para cumplir con las cadencias pero la mayor parte del tiempo estarían en desuso.
- ¿Cómo se concentra el tráfico? ¿Zonas de cuellos de botella? ¿Zonas estrechas?

6.4.2. Operativas

Se van a exponer varios procedimientos que permiten conocer el funcionamiento del proyecto a fondo, incluyendo el tipo de robot empleado, las operativas y necesidades requeridas.

6.4.2.1. Fluograma

Este procedimiento permite conocer las diferentes zonas de la instalación y el flujo de movimientos que deberá realizar el robot. Se basa en una ilustración sencilla donde,

En primer lugar, sobre el Layout proporcionado, se deben diferenciar y representar las zonas relevantes en el proceso que se va a automatizar.

Seguidamente, se debe determinar dónde se ubicará la zona de carga de batería, que se considera el punto de comienzo. Debe estar en un lugar clave: normalmente cerca del buffer, en alguna zona de menos paso o donde se pueda ahorrar tiempo. Su posición definitiva deberá ser estudiada en fases posteriores junto al proveedor. También es conveniente designar las localizaciones donde se existirán los puestos de llamada de robot o PDA, en caso de que se requieran. Se localizan donde indique el cliente o donde la operativa lo requiera.

Después, se deben incluir flechas que indiquen la dirección, el sentido, y la cantidad de movimientos por hora. Hay que tener en cuenta la Conservación de las cadencias (el número de movimientos de entrada a una zona es el mismo que los de salida) y especificar si el AGV va con pallet lleno, pallet vacío o no transporta nada. Es conveniente intentar que el robot transporte algo en cada movimiento (contenedor vacío o lleno).

A continuación se muestra un ejemplo en varias fases (Ilustración 16 y más avanzado en la Ilustración 17).

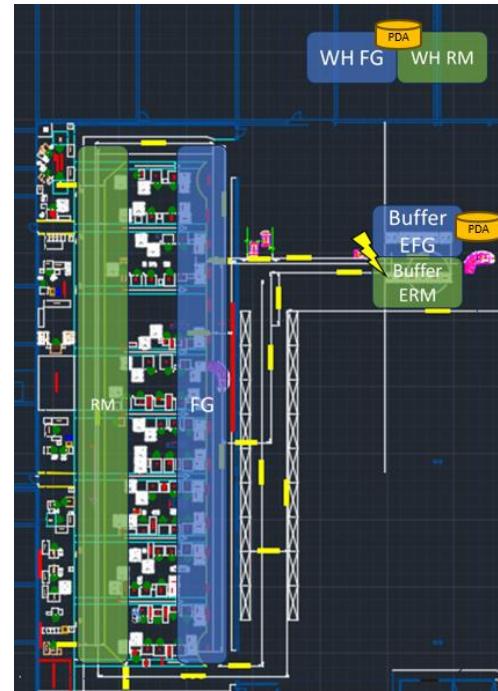


Ilustración 16. Ejemplo de Flujograma sobre Layout. (Elaboración propia)

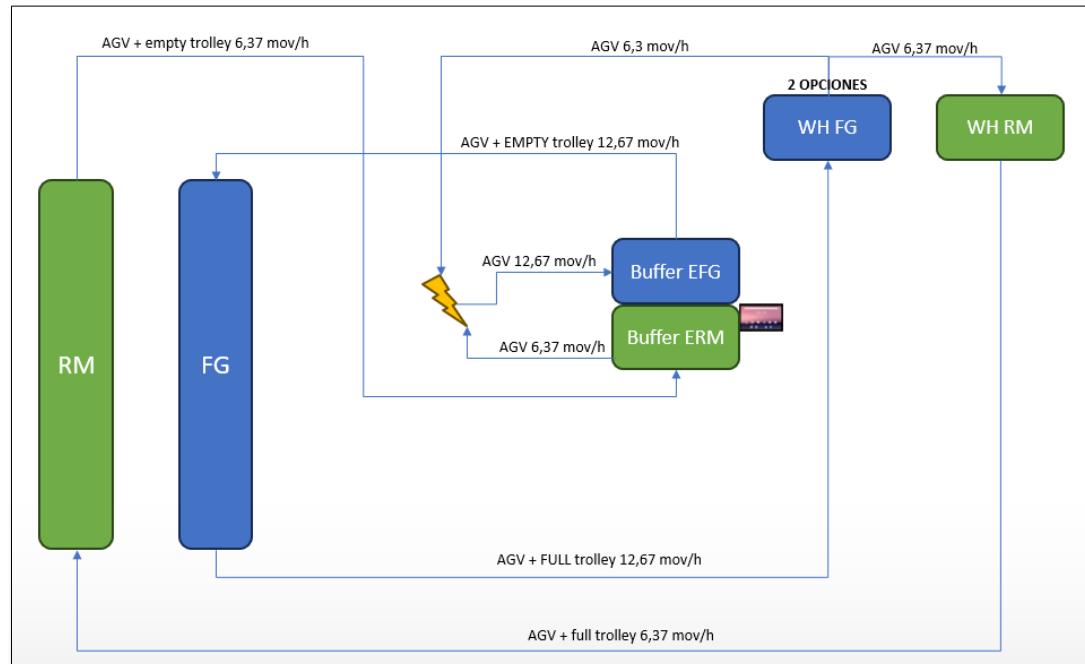


Ilustración 17. Ejemplo desarrollado de Flujograma. (Elaboración propia)

6.4.2.2. Dibujo de las estaciones

Este procedimiento trata de hacer un dibujo o boceto de las diferentes zonas implicadas en el proceso junto a las interacciones que deberá realizar el robot en ella. De esta manera, es posible determinar los detalles que se deben tener en cuenta.

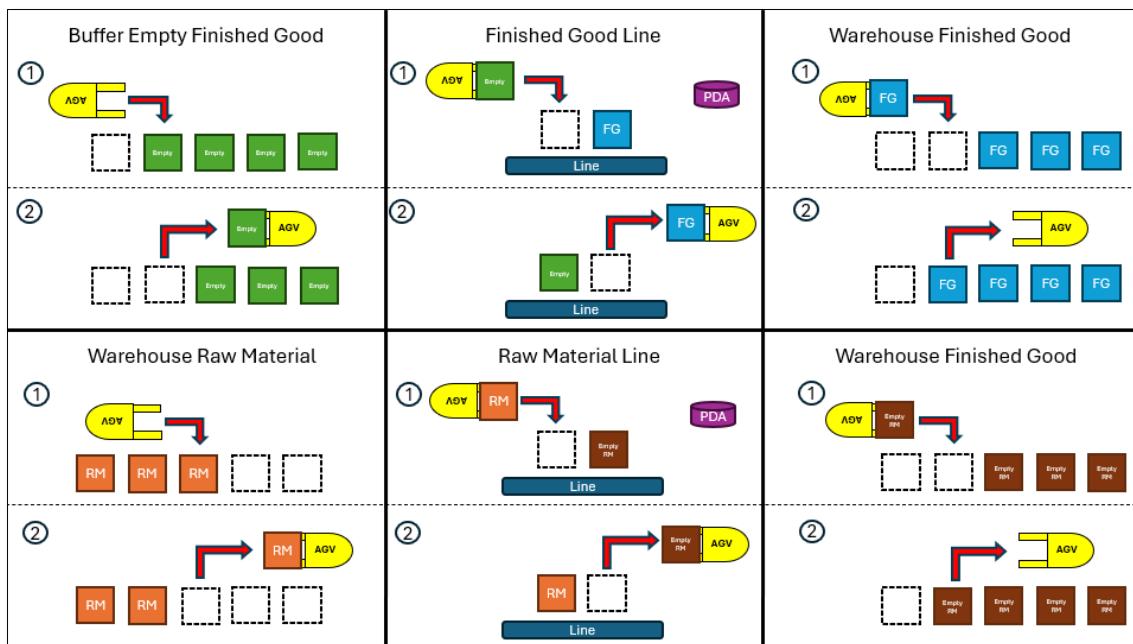
Estos detalles son:

- número de posiciones,
- cómo entran los robots a las posiciones,
- qué tipos de robot pueden realizar la operativa,
- dónde están los puestos de llamada de material (si los hay),
- qué tipo de contenedor o carga transporta en cada trayectoria y cómo estará dispuesto,
- consecución de movimientos,
- Intentar que el robot transporte algo en cada movimiento (contenedor vacío o lleno),
- Detectar posibles problemas, etc.

Hay que tener en cuenta que, en ciertas ocasiones, hacer algún cambio en la infraestructura de manera que se pueda utilizar un AGV más sencillo y barato, puede ahorrar dinero al cliente. Esto se debe a que el coste de la modificación de la infraestructura es menor que el coste que supondría la elección de una tipología de robot más cara.

Se muestran una serie de ejemplos:

Estudio de las estaciones en el mismo caso estudiado en el flujoograma (Ilustración 18).



Caso sencillo del estudio de las diferentes etapas encontradas en una sola estación de carga/descarga de material en un proyecto diferente (Ilustración 19).

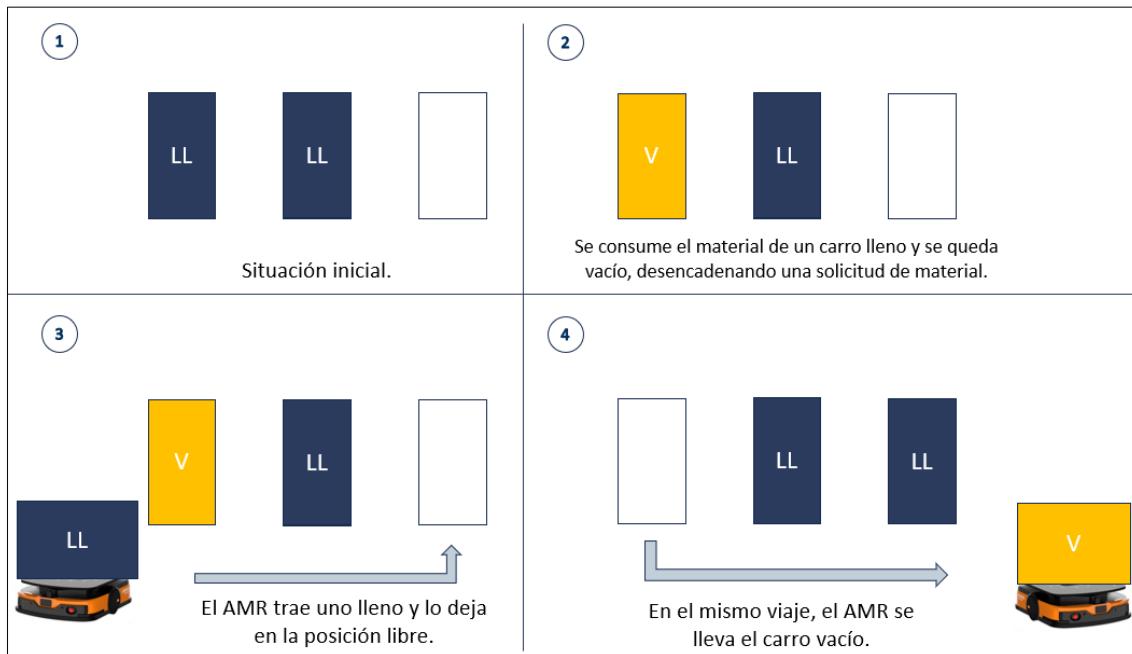


Ilustración 19. Ejemplo 2 de dibujo de las estaciones. (Elaboración propia)

Otro caso sencillo del estudio de una sola estación en un proyecto diferente (Ilustración 20).

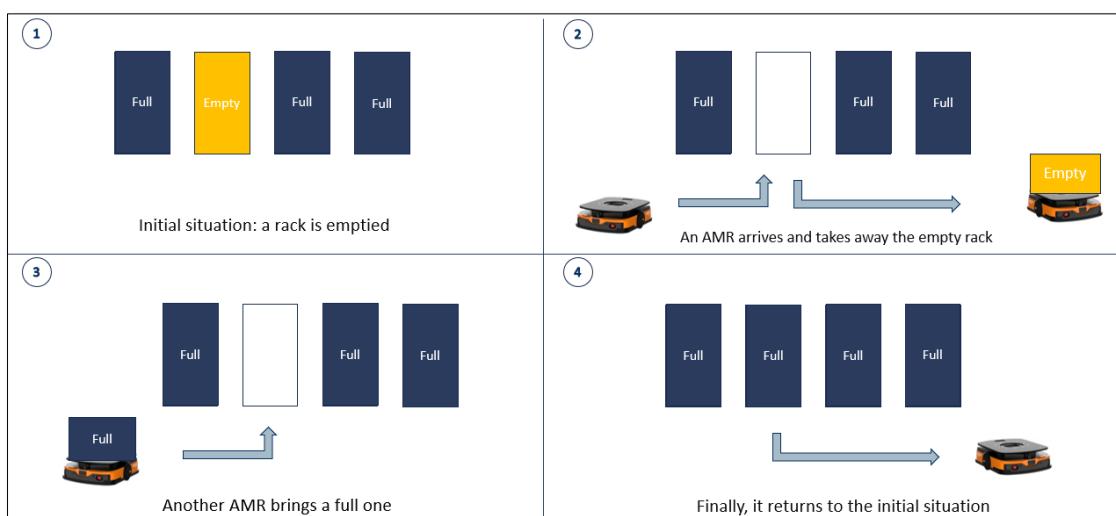


Ilustración 20. Ejemplo 3 de dibujo de las estaciones. (Elaboración propia)

6.4.3. Elección de tipología

Tras las diferentes operativas realizadas, se debería disponer de suficiente información y conocimiento del proyecto para la elección de tipología.

A continuación, se enumeran diferentes aspectos que se deben conocer a la hora de la toma de decisiones:

- Dependiendo del peso a transportar y altura en la que se opera, existen diferentes modelos dentro de una tipología de robot. Es usual, en la tipología de contrapesadas, encontrar gráficas donde se especifique el peso, altura y distancia al centro de gravedad del robot. Estas, deben tenerse muy en cuenta para la selección del modelo.
- Se elige la tipología de contrapesadas cuando existe un obstáculo que choca con el brazo de soporte de las Forklift, que se encuentra siempre en la parte inferior de las horquillas. Por ejemplo, en una estación como en la Ilustración 21.



Ilustración 21. Fotografía de una estación de carga de material complicada. (Fuente: VisionNav)

- Hay que tener en cuenta el tamaño de los AGVs. Deben caber adecuadamente en cada lugar: Los pasillos tienen que ser lo suficientemente grandes y los lugares de aparcamiento suelen necesitar espacios amplios.

6.4.4. Cálculo del número de AGVs

Durante mi estancia en Moontech, desarrollé un sistema propio de cálculo de numero robots a través de Excel, a partir de modelos obtenidos de diferentes proveedores con los que trabajé. Entre estos proveedores destacan Seer Robotics, VisionNav y HikRobotics, empresas de gran tamaño que suministran AMRs y cuentan con procedimientos confiables y bien establecidos.

Por motivos de confidencialidad, el sistema no se explica en este TFG; sin embargo, se me ha permitido mostrar un ejemplo de su aplicación en la Ilustración 22.

Origen	Destino	Distancia 1 (corta) (m)	Distancia 2 (media) (m)	Distancia 3 (larga) (m)	Tiempo de Carga / Descarga (s)	Tiempo de movimiento (s)	Tiempo de control y tráfico (s)	Tiempo y cadencias		Tiempo Total (s)	Nº AGVs	Uso (%)																																																																																																								
								Cadencia (movimientos/h)	Tiempo Total (s)																																																																																																											
Almacén	GL1	54,0	45,0	239,0	30	428,9	30	489	0,08:09	2,15	1051	0:17:31																																																																																																								
	GL1	53,0	93,0	118,0	30	393,8	30	454	0,07:34	2,15	976	0:16:16																																																																																																								
Almacén	GL2	37,0	45,0	140,0	30	294,8	30	355	0,05:55	2,06	731	0:12:11																																																																																																								
	GL2	45,0	55,0	140,0	30	332,4	30	392	0,06:32	2,06	808	0:13:28																																																																																																								
Almacén	GL3	26,0	55,0	140,0	30	279,6	30	340	0,05:40	1,62	550	0:09:10																																																																																																								
	GL3	30,0	42,0	85,0	30	222,5	30	283	0,04:43	1,62	458	0:07:38																																																																																																								
Almacén	GL4	13,0	29,0	140,0	30	203,5	30	264	0,04:24	4,00	1054	0:17:34																																																																																																								
	GL4	35,0	60,0	118,0	30	293,0	30	353	0,05:53	4,00	1412	0:23:32																																																																																																								
Almacén	GL5	25,0	32,0	140,0	30	241,5	30	301	0,05:01	2,06	621	0:10:21																																																																																																								
	GL5	33,0	42,0	118,0	30	259,8	30	320	0,05:20	2,06	659	0:10:59																																																																																																								
												0:59:10																																																																																																								
												23,78																																																																																																								
<table border="1"> <tr> <td>Datos de Entrada</td> <td colspan="12"></td> </tr> <tr> <td>Velocidad de movimientos cortos (m/s)</td> <td colspan="12">0,36</td> </tr> <tr> <td>Velocidad de movimientos medios (m/s)</td> <td colspan="12">0,65</td> </tr> <tr> <td>Velocidad de movimientos largos (m/s)</td> <td colspan="12">1,14</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Carga / Descarga (s)</td> <td colspan="12">30</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de control y tráfico (s)</td> <td colspan="12">30</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de carga (%)</td> <td colspan="12">20%</td> </tr> <tr> <td>1s =</td> <td colspan="12">1,16E-05</td> </tr> </table>												Datos de Entrada													Velocidad de movimientos cortos (m/s)	0,36												Velocidad de movimientos medios (m/s)	0,65												Velocidad de movimientos largos (m/s)	1,14												Tiempo de Carga / Descarga (s)	30												Tiempo de control y tráfico (s)	30												Tiempo de carga (%)	20%												1s =	1,16E-05												
Datos de Entrada																																																																																																																				
Velocidad de movimientos cortos (m/s)	0,36																																																																																																																			
Velocidad de movimientos medios (m/s)	0,65																																																																																																																			
Velocidad de movimientos largos (m/s)	1,14																																																																																																																			
Tiempo de Carga / Descarga (s)	30																																																																																																																			
Tiempo de control y tráfico (s)	30																																																																																																																			
Tiempo de carga (%)	20%																																																																																																																			
1s =	1,16E-05																																																																																																																			
<table border="1"> <tr> <td>MOVIMIENTOS TOTALES</td> <td colspan="12">23,78</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="12">8320 2:18:40</td> </tr> <tr> <td>TOTAL SIN TIEMPO DE CARGA</td> <td colspan="12">23,78</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="12">8320 2:18:40</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE CARGA (%)</td> <td colspan="12">20%</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="12">1664 0:27:44</td> </tr> <tr> <td>TOTAL CON TIEMPO DE CARGA</td> <td colspan="12">23,78</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="12">9984 2:46:24</td> </tr> </table>													MOVIMIENTOS TOTALES	23,78													8320 2:18:40												TOTAL SIN TIEMPO DE CARGA	23,78													8320 2:18:40												TIEMPO DE CARGA (%)	20%													1664 0:27:44												TOTAL CON TIEMPO DE CARGA	23,78													9984 2:46:24											
MOVIMIENTOS TOTALES	23,78																																																																																																																			
	8320 2:18:40																																																																																																																			
TOTAL SIN TIEMPO DE CARGA	23,78																																																																																																																			
	8320 2:18:40																																																																																																																			
TIEMPO DE CARGA (%)	20%																																																																																																																			
	1664 0:27:44																																																																																																																			
TOTAL CON TIEMPO DE CARGA	23,78																																																																																																																			
	9984 2:46:24																																																																																																																			

Ilustración 22. Ejemplo de utilización del Modelo de Excel para el cálculo del número de AGVs.
(Elaboración propia)

Gracias a este modelo de Excel, es posible tener en cuenta todos los aspectos necesarios para determinar la cantidad de dispositivos requeridos. El modelo ya se utiliza de manera habitual en las operativas de la empresa y su funcionamiento ha sido probado y es altamente eficiente.

6.4.5. Plantilla de propuesta inicial

Los contenidos mínimos que debe incluir la propuesta que se presentará al cliente son:

- Introducción a Moontech.
- Layout de la planta resaltando las zonas relevantes en el proceso.
- Imágenes de las instalaciones.
- Imágenes y dimensiones del Material a transportar.
- Explicación del proceso, cómo se gestiona y cuáles son las interacciones con los operarios.
- Flujograma y dibujo de las estaciones.
- Cálculo de cadencias y número de robots.
- Conclusión sobre el número de robots. Aquí se deben exponer las posibles opciones.
- Tipología y proveedor propuestos.
- Ejemplos de visualización de tareas y del software.
- Presupuesto inicial.
- Recordatorio de casos de éxito en proyectos similares.

Esta plantilla se desarrolla en una presentación, de aproximadamente 25 diapositivas, en formato PowerPoint, para posteriormente ser presentada al cliente; habitualmente mediante videoconferencia.

Por confidencialidad de la empresa, no tengo permiso para mostrar un ejemplo de una presentación.

7. Bibliografía

Canal de YouTube de Moontech Industrial Solutions: <https://www.youtube.com/@moontech-industrial/videos>

ÁNGEL FERNANDEZ CUELLO, VICTOR PEINADO CANUDO. *Software as a Communication Platform*. [ref. de 2009]. Disponible en Web:

https://res.cloudinary.com/sternwald-systems/raw/upload/v1/hugopr/ARTIKEL_ATTACH/002437E7_534ED0618524/9c5931485202ba40034dc8f8606d40c0628edd5e/PE_2009_11_Software-as-a-Communication-Platform.pdf

SARA RODRÍGUEZ. *Entendiendo el APQP: Planificación Avanzada para la Calidad del Producto*. [ref. de 16 de enero de 2024]. Disponible en Web:

<https://labes-unizar.es/entendiendo-el-apqp-planificacion-avanzada-para-la-calidad-del Producto/>

BERND ALTENDORFER, MR. CRÖSSMANN, DR. FLORIAN ALTENDORFER Y DR. BLAZ NARDIN. *The Relevance of Pro4Plast*. [ref. de 2006]. Disponible en Web:

<https://slideplayer.com/slide/6656771/>

Proveedores referenciados:

<https://www.seer-group.com/>

<https://www.hikrobotics.com/>

<https://www.visionnav.com/>

<https://www.dta.es/>

<https://www.iplusmobot.com/>