



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**GESTIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA Y PLANIFICACIÓN
DE UN PROYECTO INDUSTRIAL EN UNA PLANTA
ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ**

Autor: Pedro Pérez Díaz

Tutor: Gonzalo Perujo

Madrid

Julio de 2026

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Trabajo Fin de Grado presentado
con el título

Gestión técnico-económica y planificación de un proyecto industrial en una
planta alimentaria de transformación de maíz

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2025/26

es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad
a otros efectos.

El Trabajo no es plagio de otro, ni total ni parcialmente, y la información
que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Pedro Pérez Díaz

Fecha: 20 / 07 / 2026

Autorizada la entrega del Trabajo Fin de Grado

EL TUTOR DEL TRABAJO

Fdo.: Gonzalo Perujo

Fecha: 20 / 07 / 2026



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

GESTIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA Y PLANIFICACIÓN DE UN PROYECTO INDUSTRIAL EN UNA PLANTA ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ

Autor: Pedro Pérez Díaz

Tutor: Gonzalo Perujo

Madrid

Julio de 2026

GESTIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA Y PLANIFICACIÓN DE UN PROYECTO INDUSTRIAL EN UNA PLANTA ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ

Autor: Pedro Pérez Díaz

Tutor: Gonzalo Perujo

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado desarrolla un modelo integral de gestión técnico-económica aplicado a la ejecución de un proyecto industrial en una planta alimentaria dedicada a la transformación de maíz. El objetivo principal es analizar, desde una perspectiva técnica y organizativa, cómo se estructura, dimensiona y planifica un montaje mecánico industrial, integrando criterios de alcance, plazo, coste, calidad y gestión de riesgos.

La industria alimentaria tiene particularidades que condicionan el diseño y la ejecución de instalaciones mecánicas. A diferencia de otros sectores, sus sistemas deben cumplir requisitos higiénico-sanitarios estrictos, garantizar la trazabilidad documental y ajustarse a la normativa de contacto alimentario. Estas exigencias afectan directamente a la selección de materiales, a los procedimientos de soldadura, a los sistemas de limpieza y a la estructura global del proyecto. Por eso, la estimación económica y la planificación no pueden plantearse de forma aislada: deben incorporar estos condicionantes desde la definición inicial del alcance.

El proyecto analizado consiste en la ampliación de una línea de proceso en una planta existente de transformación de maíz: nuevas líneas de tuberías sanitarias en acero inoxidable, equipos térmicos como intercambiadores de calor, bombas centrífugas de proceso, depósitos intermedios y elementos auxiliares de soporte estructural. La ejecución combina prefabricación en taller y montaje final en planta, con el fin de mejorar los rendimientos, reducir riesgos y minimizar las interferencias con la operación existente.

La metodología sigue un enfoque de estimación bottom-up: se parte de la definición detallada del alcance técnico y del despiece de partidas en elementos medibles, y a partir de esas mediciones se aplican rendimientos técnicos realistas para calcular las horas necesarias, diferenciando personal directo e indirecto. Los recursos humanos se dimensionan después en función de la duración prevista del proyecto, fijada en diez meses de ejecución efectiva en planta, con jornadas ampliadas propias de entornos industriales.

El modelo económico integra cinco bloques principales: coste de personal en taller, coste de personal en planta, suministros y materiales, subcontrataciones

especializadas y gastos generales. A esto se suma una provisión por imprevistos y un margen industrial, ambos coherentes con las prácticas habituales en proyectos industriales de tamaño medio.

La planificación temporal se desarrolla mediante un cronograma que cubre desde las fases previas de ingeniería y compras hasta la puesta en marcha y el cierre. Se complementa con un histograma de recursos que muestra la evolución mensual del personal directo e indirecto y comprueba la coherencia entre las horas estimadas y la duración total del proyecto.

El trabajo incluye también un análisis estructurado de riesgos técnicos, económicos y de planificación, junto con el plan de calidad y de prevención de riesgos laborales. Por último, se hace una valoración crítica del modelo, señalando sus limitaciones y proponiendo mejoras orientadas a su aplicación en entornos reales de mayor complejidad.

En conjunto, este TFG muestra la estrecha relación entre las decisiones técnicas y los resultados económicos en proyectos industriales, y confirma que una planificación rigurosa y una estimación bien fundamentada son claves para garantizar la viabilidad de la ejecución.

Palabras clave: gestión de proyectos industriales, estimación de costes, rendimientos, planificación, cronograma, histograma de recursos, análisis de riesgos, calidad industrial, industria alimentaria, transformación de maíz.

ABSTRACT

This Final Degree Project develops an integrated techno-economic management model applied to the execution of an industrial mechanical installation project in a food processing plant dedicated to corn transformation. The main objective of the study is to analyze, from a technical and organizational perspective, how an industrial project is structured, dimensioned and planned, integrating scope definition, cost estimation, scheduling, quality assurance and risk management.

Food processing facilities present specific constraints that significantly influence the design and execution of mechanical installations. Unlike other industrial sectors, such facilities must comply with strict hygienic requirements, material traceability regulations and food-contact standards. These constraints directly affect material selection, welding procedures, cleaning systems and documentation requirements. Consequently, cost estimation and scheduling cannot be performed independently of technical design decisions; they must incorporate these conditions from the earliest stages of project definition.

The project analyzed in this work consists of the expansion of a process line in an existing corn transformation plant. The scope includes the installation of new stainless steel sanitary piping systems, heat exchangers, centrifugal pumps, intermediate storage tanks and auxiliary structural supports. The execution strategy combines workshop prefabrication and on-site assembly, aiming to improve productivity, reduce operational risks and minimize interference with ongoing plant operations.

The methodological approach follows a bottom-up estimation model. The project scope is first decomposed into measurable elements and quantities. Technical productivity rates are then applied to calculate required labor hours, distinguishing between direct and indirect personnel. Based on the total estimated hours and the defined execution period of ten effective months on site, workforce requirements are dimensioned and distributed over time.

The economic model integrates five major cost categories: workshop labor, on-site labor, material and equipment supply, subcontracted services and general overhead costs. In addition, contingency provisions and industrial margin are incorporated, aligned with standard practices in medium-scale industrial projects.

Project scheduling is developed through a structured timeline covering engineering, procurement, prefabrication, assembly, testing and commissioning phases. A resource histogram complements the schedule, ensuring coherence between total estimated hours and project duration.

The work also includes a structured risk analysis addressing technical, economic and planning uncertainties, as well as a quality and occupational safety framework adapted to the food industry environment. Finally, a critical assessment of the developed model is presented, identifying methodological limitations and proposing improvements for future real-world applications.

Overall, this project highlights the strong interdependence between technical decisions and economic outcomes in industrial projects, emphasizing the importance of rigorous planning and structured cost estimation to ensure project viability and successful execution.

Índice de la memoria

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Contexto industrial y motivación.....	1
1.2 Objetivos del trabajo.....	2
1.3 Alcance y límites del proyecto.....	2
1.4 Metodología y estructura del documento.....	3
1.5 Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	4
Capítulo 2. CONTEXTO TECNOLÓGICO: PLANTA ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ.....	5
2.1 Descripción general del proceso industrial.....	5
2.2 Principales equipos y sistemas de proceso.....	6
2.3 Requisitos higiénico-sanitarios y su impacto en ingeniería.....	8
2.4 Condicionantes típicos en ampliaciones de planta existente.....	9
2.5 Criterios de diseño e ingeniería de detalle para instalaciones mecánicas en industria alimentaria.....	10
2.5.1 Selección de materiales y compatibilidad alimentaria.....	10
2.5.2 Criterios higiénicos: drenabilidad, ausencia de zonas muertas y CIP.....	10
2.5.3 Criterios de soldadura sanitaria y acabado superficial.....	11
2.5.4 Soportación, dilataciones y vibraciones.....	11
2.5.5 Accesibilidad y mantenibilidad.....	12
2.5.6 Implicaciones en coste y planificación.....	12

Índices

2.6 Impacto del entorno alimentario en la complejidad del proyecto.....	12
Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL ALCANCE TÉCNICO DEL PROYECTO.....	13
3.1 Descripción general del alcance mecánico.....	13
3.2 Desglose técnico por partidas.....	14
3.3 Interfaces y límites de suministro.....	15
3.4 Estrategia de ejecución: prefabricación en taller y montaje en planta.....	16
3.5 Entregables técnicos y documentación asociada.....	17
Capítulo 4. MODELO DE ESTIMACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA.....	18
4.1 Enfoque general de estimación.....	18
4.2 Preciario y mediciones.....	19
4.3 Rendimientos y cálculo de horas.....	20
4.4 Dimensionamiento de recursos humanos.....	21
4.5 Estructura de costes.....	22
4.6 Imprevistos y margen industrial.....	23
4.7 Sensibilidad y robustez del modelo.....	23
4.8 Justificación detallada de la estrategia taller-planta.....	24
4.9 Relación entre coste directo y coste total.....	25
4.10 Análisis del impacto del plazo en el coste.....	26
4.11 Integración económica global.....	26
Capítulo 5. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	27
5.1 Consolidación del presupuesto base.....	27
5.2 Desglose estructural del presupuesto.....	28

Índices

5.3 Provisión por imprevistos y margen industrial.....	29
5.4 Coherencia económica global.....	29
Capítulo 6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y GESTIÓN DE RECURSOS.....	30
6.1 Enfoque general de planificación.....	30
6.2 Desglose estructurado de actividades (WBS).....	31
6.3 Secuencia lógica de ejecución.....	32
6.4 Identificación conceptual de la ruta crítica.....	33
6.5 Histograma de recursos y coherencia con horas estimadas.....	33
6.6 Análisis del orden de magnitud del presupuesto.....	34
6.7 Control de avance físico y económico.....	34
6.8 Relación entre planificación y riesgo.....	35
6.9 Análisis detallado del histograma de recursos.....	35
6.10 Equilibrio entre carga de trabajo y capacidad organizativa.....	36
6.11 Relación entre planificación y control económico (Earned Value conceptual).....	37
6.12 Gestión de desviaciones potenciales.....	37
6.13 Robustez temporal del proyecto.....	38
Capítulo 7. GESTIÓN DE RIESGOS.....	38
7.1 Metodología de identificación y evaluación de riesgos.....	38
7.2 Clasificación de riesgos.....	39
7.3 Riesgos técnicos.....	40
7.4 Riesgos de planificación.....	40

	<i>Índices</i>
7.5 Riesgos económicos.....	41
7.6 Riesgos operativos y de seguridad.....	41
7.7 Integración del riesgo en el modelo económico.....	41
Capítulo 8. PLAN DE CALIDAD Y PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES.....	42
8.1 Enfoque general del plan de calidad.....	42
8.2 Control de fabricación en taller.....	42
8.3 Control de montaje en planta.....	43
8.4 Pruebas y ensayos.....	43
8.5 Control documental y trazabilidad.....	44
8.6 Prevención de riesgos laborales (PRL).....	44
8.7 Impacto del sistema de calidad en el modelo económico.....	45
Capítulo 9. ANÁLISIS CRÍTICO Y LIMITACIONES.....	46
9.1 Evaluación global del modelo desarrollado.....	46
9.2 Limitaciones en la estimación de rendimientos.....	46
9.3 Sensibilidad del modelo ante variaciones económicas.....	47
9.4 Diferencias entre modelo académico y proyecto contractual real.....	47
9.5 Gestión del riesgo residual.....	48
9.6 Posibles mejoras metodológicas.....	49
9.7 Valor profesional del ejercicio desarrollado.....	49
Capítulo 10. CONCLUSIONES.....	50
10.1 Conclusiones técnicas.....	50
10.2 Conclusiones económicas.....	50

Índices

10.3 Conclusiones organizativas y de gestión.....	51
10.4 Conclusiones profesionales y formativas.....	51
10.5 Perspectivas futuras.....	52
10.6 Conclusión final.....	52
Capítulo 11. ANÁLISIS DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS Y OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO.....	53
11.1 Introducción al análisis de escenarios.....	53
11.2 Escenario 1: Mayor ejecución en planta.....	54
11.3 Escenario 2: Reducción del plazo total.....	54
11.4 Escenario 3: Modularización avanzada.....	55
11.5 Optimización del modelo económico.....	56
11.6 Evaluación comparativa de escenarios.....	56
Capítulo 12. Resumen de Datos Clave.....	57
Capítulo 13. Bibliografía.....	58
ANEXOS.....	60
ANEXO I – Documentación del cliente y alcance inicial.....	60
1. Introducción y consideraciones de confidencialidad.....	60
2. Tipología de documentación recibida del cliente.....	60
3. Carta de alcance: estructura y contenido.....	61
4. Documentación gráfica: planos y esquemas.....	62
5. Especificaciones técnicas aplicables.....	62
6. Alcance inicial del proyecto definido por el cliente.....	63

Índices

7. Elementos incluidos y excluidos: visión general.....	63
8. Conclusión del anexo.....	65
ANEXO II – Análisis y ajuste del alcance del proyecto.....	65
1. Introducción.....	65
2. Interpretación técnica de la carta de alcance.....	66
3. Contraste del alcance con la documentación técnica.....	66
4. Identificación de exclusiones del alcance.....	67
5. Definición de hipótesis de partida.....	68
6. Aclaraciones técnicas del alcance.....	68
7. Conclusión del anexo.....	69
ANEXO III – Cálculo de horas, rendimientos y estimación de recursos.....	69
1. Introducción.....	69
2. Hipótesis generales de partida.....	69
3. Rendimientos de trabajo.....	70
4. Cálculo de horas de trabajo.....	70
5. Dimensionamiento del personal.....	71
6. Estimación de costes de personal.....	71
7. Gastos, suministros y subcontrataciones.....	71
8. Resumen y coherencia del modelo.....	72
9. Conclusión del anexo.....	72
ANEXO IV – Preciario y estructura de partidas de la instalación mecánica.....	74
1. Introducción.....	74

Índices

2. Función del preciado en la gestión técnico-económica.....	74
3. Estructura general del preciado.....	75
4. Capítulo de tuberías.....	75
5. Capítulo de válvulas.....	76
6. Capítulo de soportes.....	76
7. Capítulo de equipos.....	76
8. Accesorios, aislamiento y pintura.....	76
9. Pruebas, documentación y trabajos varios.....	76
10. Relación entre el preciado y el alcance del proyecto.....	77
11. Conclusión del anexo.....	77
ANEXO V – Planificación del proyecto: cronograma e histograma de personal.....	79
1. Objetivo del anexo.....	79
2. Criterios e hipótesis de planificación.....	80
3. Cronograma (mes -4 a mes 30).....	80
4. Histograma de personal.....	80
5. Notas de coherencia con el cálculo de horas.....	81
ANEXO VI – Análisis de riesgos y medidas de mitigación del proyecto.....	85
1. Objetivo del anexo.....	85
2. Metodología de análisis de riesgos.....	85
3. Identificación de riesgos.....	85
4. Principales riesgos técnicos.....	86
5. Riesgos de planificación y plazo.....	86

	<i>Índices</i>
6. Riesgos económicos.....	87
7. Riesgos de seguridad y salud.....	87
8. Riesgos residuales y seguimiento.....	87
9. Conclusión del anexo.....	87
ANEXO VII – Plan de calidad y prevención de riesgos laborales.....	88
1. Introducción.....	88
2. Plan de calidad.....	88
3. Control de soldadura y ensayos.....	88
4. Prevención de riesgos laborales.....	88
5. Organización preventiva.....	89
6. Conclusión del anexo.....	89

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1: Diagrama conceptual del proceso de transformación de maíz.....</i>	<i>6</i>
<i>Ilustración 2: Layout conceptual de la zona de ampliación en planta.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 3: Isométrico conceptual de línea sanitaria prefabricada.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 4: Relación coste-plazo-recursos (esquema conceptual).....</i>	<i>27</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Desglose del presupuesto del proyecto.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 2: Pico de personal simultáneo (meses 0-2 de ejecución).....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 3: Distribución de horas de trabajo taller / planta.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 4: Parámetros generales del modelo de horas (Anexo III).....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 5: Personal de taller: horas asignadas y coste (Anexo III).....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 6: Personal de planta: horas asignadas y coste (Anexo III).....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 7: Resumen de costes por bloque (Anexo III).....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 8: Preciario mecánico de ejemplo (extracto, Anexo IV).....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 9: Cronograma de actividades (Anexo V).....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 10: Histograma de personal mes a mes (Anexo V).....</i>	<i>83</i>

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto industrial y motivación

La ejecución de proyectos industriales de montaje mecánico es una de las actividades más complejas de la ingeniería industrial. Combinan disciplinas muy distintas —mecánica, térmica, estructural, organizativa y económica— y exigen coordinar con precisión el diseño, la fabricación, la logística y el montaje en campo. De cómo se gestionen estos elementos depende no solo la viabilidad económica, sino también la seguridad, la calidad y el cumplimiento de los plazos.

En la industria alimentaria esta complejidad aumenta por los requisitos normativos y sanitarios que deben cumplir tanto los materiales como los procesos. Las instalaciones tienen que satisfacer criterios higiénicos específicos, garantizar la trazabilidad de los materiales y evitar cualquier riesgo de contaminación del producto final, lo que se traduce en el uso predominante de acero inoxidable sanitario, soldaduras de alta calidad, sistemas de limpieza integrados y un control documental exhaustivo.

En las plantas de transformación de maíz, en concreto, los procesos incluyen almacenamiento, molienda, transporte de sólidos y líquidos, tratamientos térmicos y etapas de separación y clasificación. Cada fase requiere sistemas mecánicos interconectados, de ahí las redes complejas de tuberías, equipos de bombeo, intercambiadores de calor y depósitos intermedios que caracterizan este tipo de instalaciones. Ampliar o modificar estas líneas exige, además, especial cuidado para no interferir con la producción existente, lo que añade un condicionante más a la planificación.

Este Trabajo Fin de Grado nace de la voluntad de aplicar los conocimientos técnicos adquiridos durante el grado junto con herramientas de gestión económica y organizativa, sobre un caso práctico realista. Más allá del diseño técnico, el ingeniero industrial tiene que saber estimar costes, planificar recursos, identificar riesgos y valorar la viabilidad global de un proyecto.

Con esa idea, el trabajo desarrolla un modelo técnico-económico aplicado a la ampliación de una línea de proceso en una planta alimentaria de transformación

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

de maíz, simulando las condiciones reales de un proyecto industrial de tamaño medio.

1.2 Objetivos del trabajo

El objetivo general de este trabajo es desarrollar un modelo estructurado de gestión técnico-económica que permita analizar la viabilidad y la planificación de un proyecto industrial de montaje mecánico en entorno alimentario.

De este objetivo general se derivan los siguientes objetivos específicos:

- Definir de forma coherente el alcance técnico de una ampliación industrial en planta alimentaria.
- Desarrollar un modelo de estimación económica basado en mediciones y rendimientos técnicos.
- Elaborar una planificación temporal coherente con las horas estimadas y el alcance definido.
- Integrar un análisis de riesgos que permita evaluar incertidumbres técnicas y económicas.
- Establecer un marco de calidad y prevención de riesgos laborales adaptado al entorno alimentario.
- Realizar un análisis crítico del modelo desarrollado, identificando sus limitaciones y posibles mejoras.

El trabajo no pretende sustituir la ingeniería de detalle ni servir como presupuesto contractual real, sino reproducir con rigor académico las principales decisiones técnicas y económicas que intervienen en la gestión de un proyecto industrial.

1.3 Alcance y límites del proyecto

El alcance de esta memoria se limita al ámbito mecánico de la ampliación industrial. En concreto, incluye:

- Instalación de nuevas líneas de tuberías sanitarias en acero inoxidable.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

- Montaje de bombas centrífugas de proceso.
- Integración de intercambiadores de calor.
- Instalación de depósitos intermedios.
- Soportación y estructuras auxiliares.
- Prefabricación en taller y montaje final en planta.
- Pruebas hidráulicas y puesta en servicio mecánica.

Quedan fuera del alcance de este trabajo:

- Ingeniería de proceso detallada.
- Diseño eléctrico y automatización avanzada.
- Obra civil estructural.
- Análisis financiero completo del cliente final.
- Estudio medioambiental exhaustivo.

Esta delimitación centra el análisis en la dimensión técnico-económica del montaje mecánico y mantiene el alcance dentro de unos límites razonables para un Trabajo Fin de Grado.

1.4 Metodología y estructura del documento

El trabajo sigue una metodología progresiva y estructurada. Primero se define el contexto tecnológico y el alcance del proyecto; después se desarrolla el modelo de estimación económica a partir de mediciones y rendimientos técnicos, y a continuación se elabora la planificación temporal y el dimensionamiento de recursos, integrando el análisis de riesgos y el plan de calidad.

La memoria se organiza en once capítulos principales, que desarrollan de forma secuencial los distintos aspectos del proyecto. Los anexos completan la información recogida en la memoria: el ajuste de alcance, el modelo detallado de costes, el precario, el cronograma, el análisis de riesgos y el plan de calidad.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Esta estructura separa el razonamiento conceptual de la memoria del detalle cuantitativo de los anexos, lo que da claridad expositiva y coherencia técnica al conjunto.

1.5 Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Aunque se desarrolla en el marco de un Trabajo Fin de Grado, este proyecto se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas, sobre todo los relacionados con la gestión eficiente de infraestructuras industriales y la optimización de recursos productivos.

Los ODS más directamente relacionados con el alcance del proyecto son los siguientes:

ODS 9 – Industria, innovación e infraestructura

Un modelo estructurado de planificación técnico-económica para una ampliación industrial contribuye a mejorar la eficiencia, la fiabilidad y la sostenibilidad de las infraestructuras productivas. Aplicar criterios de ingeniería sistemáticos refuerza, además, la modernización del tejido industrial.

ODS 8 – Trabajo decente y crecimiento económico

Una buena planificación de los recursos humanos, la integración de criterios de seguridad y una estructura de procesos productivos bien definida favorecen entornos laborales organizados, seguros y económicamente viables.

ODS 12 – Producción y consumo responsables

La prefabricación en taller y el uso optimizado de los materiales reducen los retrabajos, minimizan el desperdicio y mejoran la eficiencia en el consumo de recursos, lo que se traduce en una gestión más racional y responsable de los medios productivos.

En conjunto, el proyecto pone de relieve la necesidad de integrar criterios técnicos, económicos y de sostenibilidad en la gestión moderna de proyectos industriales.

Capítulo 2. CONTEXTO TECNOLÓGICO: PLANTA ALIMENTARIA DE
TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ

Capítulo 2. CONTEXTO TECNOLÓGICO: PLANTA ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ

Antes de definir el alcance concreto de la ampliación, conviene entender el proceso industrial en el que se inserta y los equipos que lo forman. Este capítulo describe la planta de transformación de maíz desde un punto de vista funcional y técnico, y explica por qué el entorno alimentario impone condicionantes que no aparecen en otros sectores industriales.

2.1 Descripción general del proceso industrial

La transformación industrial del maíz es un proceso complejo que combina operaciones mecánicas, térmicas y de separación para obtener productos intermedios y finales como harinas, sémolas, almidones o derivados alimentarios. Las plantas dedicadas a esta actividad suelen funcionar de forma continua, con una fuerte integración entre los sistemas de transporte, tratamiento y almacenamiento.

A grandes rasgos, el proceso se divide en las siguientes etapas:

- Recepción y almacenamiento del grano en silos.
- Limpieza y eliminación de impurezas.
- Molienda o fragmentación controlada.
- Tratamiento térmico o acondicionamiento.
- Separación de fracciones.
- Almacenamiento intermedio y expedición.

Cada fase necesita sistemas mecánicos específicos, entre los que destacan las redes de tuberías para el transporte de fluidos, los sistemas de bombeo, los intercambiadores de calor y los depósitos intermedios.

La ampliación que aborda este trabajo se sitúa justo después de la molienda, en la fase donde el producto necesita tratamiento térmico y circula por redes de

Capítulo 2. CONTEXTO TECNOLÓGICO: PLANTA ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ

tuberías sanitarias. Esta ubicación condiciona directamente los materiales empleados, los procedimientos de instalación y la planificación de la ejecución.



Ilustración 1: Diagrama conceptual del proceso de transformación de maíz.

2.2 Principales equipos y sistemas de proceso

En una línea de tratamiento térmico de maíz intervienen varios equipos que deben integrarse de forma coordinada.

Tuberías sanitarias

Las redes de tuberías transportan productos líquidos o semilíquidos derivados del maíz. Como están en contacto directo con el producto alimentario, se emplea acero inoxidable sanitario, normalmente AISI 304 o 316L. Sus características principales son:

- Superficie interna pulida.
- Acabado superficial controlado.
- Uniones soldadas mediante proceso TIG con purga interna.
- Diseño que evita zonas de acumulación de producto.

Instalar este tipo de tuberías exige mayor precisión que en entornos industriales convencionales, lo que repercute directamente en los rendimientos y en el coste unitario por metro lineal.

Bombas centrífugas sanitarias

Las bombas impulsan el producto a lo largo de la red de proceso y se caracterizan por:

Capítulo 2. CONTEXTO TECNOLÓGICO: PLANTA ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ

- Cierre mecánico higiénico.
- Diseño desmontable para limpieza.
- Materiales compatibles con la normativa alimentaria.
- Funcionamiento continuo en régimen estable.

Alinearlas y montarlas correctamente es clave para evitar vibraciones, pérdidas de rendimiento y desgaste prematuro.

Intercambiadores de calor

El tratamiento térmico se realiza mediante intercambiadores de placas o de carcasa y tubos, que transfieren energía térmica al producto y aseguran las condiciones de temperatura que exige el proceso.

Su instalación conlleva:

- Conexión a líneas de vapor o agua caliente.
- Integración con sistemas de control.
- Soportación estructural adecuada.
- Accesibilidad para mantenimiento.

Depósitos intermedios

Los depósitos regulan el flujo del proceso y compensan las diferencias entre etapas. Se diseñan teniendo en cuenta:

- Geometría que facilite la limpieza.
- Conexiones sanitarias.
- Sistemas de drenaje completos.

La elección entre AISI 304 y AISI 316L no es indiferente desde el punto de vista económico: el segundo, con mayor contenido de molibdeno, resiste mejor determinados productos ácidos o clorados, pero su coste por metro lineal es

Capítulo 2. CONTEXTO TECNOLÓGICO: PLANTA ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ

sensiblemente superior. En este proyecto, esa decisión se toma partida a partida, reservando el 316L para los tramos con mayor exigencia química y empleando 304 donde las condiciones del producto lo permiten, lo que evita sobrecostos innecesarios sin comprometer la seguridad alimentaria.

2.3 Requisitos higiénico-sanitarios y su impacto en ingeniería

La normativa aplicable a las instalaciones alimentarias impone requisitos que afectan directamente al diseño y a la ejecución.

Entre los principales condicionantes destacan:

- Materiales certificados para contacto alimentario.
- Eliminación de zonas muertas en tuberías.
- Pendientes mínimas para drenaje.
- Acabados superficiales controlados.
- Documentación completa de materiales y soldaduras.

Estos requisitos aumentan la complejidad técnica del montaje y reducen ligeramente los rendimientos frente a una instalación industrial estándar.

Además, la limpieza CIP (Clean In Place) exige diseñar las líneas de forma que las soluciones de limpieza puedan circular sin necesidad de desmontaje, lo que condiciona tanto la disposición geométrica como el número de válvulas.

En términos prácticos, cumplir estos requisitos no depende tanto de una única decisión de diseño como de la suma de muchas decisiones pequeñas: la pendiente exacta de cada tramo, el tipo de válvula en cada derivación, la posición de cada purga. Por eso la ingeniería de detalle en instalaciones alimentarias exige más horas de diseño por metro de tubería que una instalación industrial convencional, un factor que se traslada después a los rendimientos del Capítulo 4.

Capítulo 2. CONTEXTO TECNOLÓGICO: PLANTA ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ

2.4 Condicionantes típicos en ampliaciones de planta existente

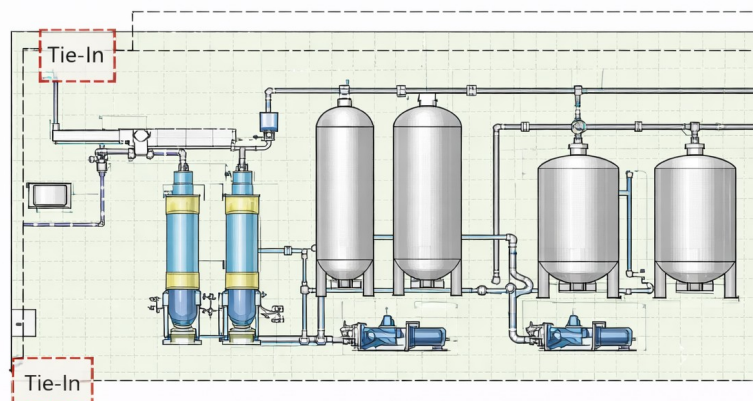
Ampliar una línea de proceso en una planta que sigue en funcionamiento añade restricciones que hay que tener en cuenta desde la propia fase de planificación.

Entre los principales condicionantes se encuentran:

- Espacio limitado para nuevas instalaciones.
- Necesidad de mantener la producción existente.
- Ventanas temporales reducidas para conexiones finales.
- Coordinación con otros contratistas.
- Interferencias con estructuras existentes.

Estas limitaciones influyen directamente en la estrategia de ejecución del proyecto y justifican la decisión de maximizar la prefabricación en taller para reducir el tiempo de intervención en planta.

Además, trabajar junto a una operación en marcha exige un control exhaustivo de seguridad y limpieza, lo que aumenta la exigencia organizativa del proyecto.



Zona de Ampliación (Proyecto)

Ilustración 2: Layout conceptual de la zona de ampliación en planta.

Capítulo 2. CONTEXTO TECNOLÓGICO: PLANTA ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ

2.5 Criterios de diseño e ingeniería de detalle para instalaciones mecánicas en industria alimentaria

La ingeniería de detalle en instalaciones mecánicas alimentarias no se reduce al trazado geométrico de tuberías y a la selección de equipos: también debe integrar criterios higiénicos, operativos, de mantenimiento y de seguridad. En este proyecto, dichos criterios se han definido para garantizar la compatibilidad con un entorno de proceso de maíz y con las exigencias propias del sector alimentario.

2.5.1 Selección de materiales y compatibilidad alimentaria

En las líneas en contacto con producto se emplea acero inoxidable sanitario, típicamente AISI 304 o 316L, por su resistencia a la corrosión, su estabilidad superficial y su facilidad de limpieza. En líneas auxiliares —por ejemplo, servicios térmicos que no tocan el producto— pueden usarse materiales alternativos, siempre que se garantice la ausencia de contaminación cruzada y una correcta segregación física.

Además de la selección del material base, se consideran aspectos como:

- Compatibilidad de juntas y elastómeros.
- Certificación de materiales de contacto.
- Requisitos de trazabilidad.

2.5.2 Criterios higiénicos: drenabilidad, ausencia de zonas muertas y CIP

El diseño de la instalación debe orientarse a reducir la retención de producto y a facilitar la higienización, integrando los siguientes criterios técnicos:

- Garantizar pendientes mínimas en el trazado de tuberías que aseguren la autodrenabilidad del sistema.
- Limitar la longitud de los tramos horizontales para evitar la sedimentación del producto.
- Evitar sifones o puntos bajos que favorezcan la acumulación de fluidos.

Capítulo 2. CONTEXTO TECNOLÓGICO: PLANTA ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ

- Disponer las válvulas y derivaciones de forma estratégica para eliminar zonas muertas de difícil acceso.

Los sistemas de limpieza CIP (Cleaning In Place) exigen además que las redes permitan un flujo turbulento y constante de las soluciones de lavado. Esto determina la ubicación de los puntos de purga, las conexiones auxiliares y la valvulería, que deben proyectarse para mantener una circulación homogénea y sin estancamientos.

2.5.3 Criterios de soldadura sanitaria y acabado superficial

En las soldaduras TIG sanitarias, además de la resistencia mecánica, se busca un acabado interno controlado. Para ello se tiene en cuenta:

purga interna durante la soldadura,
control del aporte térmico para evitar la oxidación,
inspección visual interna cuando sea accesible,
pasivado posterior si procede.

Estas exigencias alargan el tiempo de ejecución por junta y explican por qué los rendimientos son inferiores a los de una instalación industrial no sanitaria.

2.5.4 Soportación, dilataciones y vibraciones

Los soportes deben dar estabilidad sin generar tensiones indeseadas. En líneas con variaciones térmicas se tiene en cuenta:

dilataciones longitudinales,
su compensación mediante tramos flexibles o compensadores,
la ubicación de puntos fijos y guías.

En equipos rotativos como las bombas, la alineación y el anclaje influyen directamente en las vibraciones: una base mal nivelada puede provocar fallos prematuros y más necesidad de mantenimiento.

Capítulo 2. CONTEXTO TECNOLÓGICO: PLANTA ALIMENTARIA DE TRANSFORMACIÓN DE MAÍZ

2.5.5 Accesibilidad y mantenibilidad

En planta alimentaria, un criterio clave es permitir un mantenimiento rápido sin riesgo de contaminación. Para ello se garantiza:

acceso a las bombas para su desmontaje,
espacio suficiente para desmontar los intercambiadores,
acceso a las válvulas críticas,
la posibilidad de aislar equipos sin detener toda la línea.

2.5.6 Implicaciones en coste y planificación

Todos estos criterios repercuten directamente en el coste y en el plazo:

más inspección y documentación,
más tiempo por soldadura,
mayor precisión en la soportación,
mayor coordinación en el montaje en planta.

2.6 Impacto del entorno alimentario en la complejidad del proyecto

A diferencia de sectores como el petroquímico o el energético, la industria alimentaria añade una capa de exigencia técnica que no siempre resulta evidente a primera vista. No basta con cumplir las especificaciones mecánicas o térmicas: hay que garantizar condiciones higiénicas continuas durante toda la vida útil de la instalación.

Por eso, decisiones en apariencia sencillas —elegir una válvula o ubicar un soporte— se convierten en decisiones estratégicas que afectan al coste, al plazo y al riesgo del proyecto.

Por ejemplo, exigir soldaduras sanitarias con purga interna implica:

- Mayor tiempo de ejecución por junta.

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL ALCANCE TÉCNICO DEL PROYECTO

- Mayor cualificación del personal.
- Mayor nivel de inspección.
- Mayor riesgo económico en caso de defecto.

La exigencia de drenabilidad completa condiciona además las pendientes, los trazados y la soportación, lo que puede aumentar el número de elementos estructurales necesarios.

En definitiva, el entorno alimentario no solo eleva el coste unitario de ejecución, sino que reduce el margen de error admisible, lo que obliga a una planificación rigurosa y a un control exhaustivo.

Esto justifica la estrategia de este proyecto de maximizar la prefabricación en taller, donde las condiciones de control son mejores y la variabilidad se reduce de forma notable.

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL ALCANCE TÉCNICO DEL PROYECTO

Una vez descrito el contexto tecnológico, este capítulo acota qué trabajos entran dentro del proyecto y cuáles quedan fuera. Esta delimitación es la base sobre la que se construyen, en los capítulos siguientes, el modelo de estimación económica y la planificación temporal.

3.1 Descripción general del alcance mecánico

El proyecto que desarrolla este Trabajo Fin de Grado consiste en la ampliación de una línea de tratamiento térmico en una planta alimentaria de transformación de maíz. El alcance se limita al ámbito mecánico: la instalación de nuevos sistemas de tuberías, equipos de proceso y elementos auxiliares necesarios para integrar la ampliación en la planta existente.

Desde el punto de vista funcional, la ampliación permite aumentar la capacidad de tratamiento térmico del producto intermedio y ganar flexibilidad operativa en el flujo interno de proceso. Para ello es necesario incorporar nuevas líneas de

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL ALCANCE TÉCNICO DEL PROYECTO

transporte de producto, sistemas de bombeo adicionales, intercambiadores de calor y depósitos intermedios.

El alcance técnico incluye:

- Prefabricación en taller de tramos de tubería (spools).
- Transporte de prefabricados a planta.
- Montaje final en campo.
- Instalación y alineación de bombas.
- Integración de intercambiadores de calor.
- Instalación de válvulas y accesorios.
- Soportación estructural.
- Pruebas hidráulicas y verificación mecánica.

El detalle cuantitativo del alcance —mediciones aproximadas de tuberías, número de equipos y accesorios— se recoge en el Anexo II.

Restringir el alcance al ámbito mecánico no es solo una simplificación académica: refleja cómo se organizan habitualmente los contratos de montaje en proyectos de ampliación, donde la ingeniería de detalle, la instrumentación y la obra civil suelen adjudicarse a especialistas distintos. Esta delimitación permite tratar el alcance mecánico como una unidad con entidad propia, sobre la que se puede construir un modelo de costes y plazos coherente, que es precisamente el objetivo de los capítulos siguientes.

3.2 Desglose técnico por partidas

Para estructurar la estimación económica, el alcance se ha descompuesto en las siguientes partidas técnicas:

Tuberías sanitarias

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL ALCANCE TÉCNICO DEL PROYECTO

Incluyen líneas de distintos diámetros en acero inoxidable, con sus correspondientes codos, tes, reducciones y accesorios. Agruparlas por bandas de diámetro simplifica el modelo sin perder representatividad técnica.

Equipos principales

Bombas centrífugas sanitarias.

Intercambiadores de calor.

Depósitos intermedios.

Cada equipo requiere actividades específicas de manipulación, alineación, conexión y prueba.

Válvulas y accesorios

El sistema incluye válvulas manuales y automatizadas, cuya instalación exige precisión y verificación de estanqueidad.

Soportes y estructuras auxiliares

La ampliación requiere incorporar nuevos soportes metálicos para tuberías y equipos, adaptados a la configuración existente de la planta.

Esta división en cuatro partidas —tuberías, equipos principales, válvulas y accesorios, y soportación— no es arbitraria: agrupa los trabajos según el tipo de mano de obra y el rendimiento que llevan asociados. Tuberías y soportación dependen sobre todo de la longitud y del número de uniones, mientras que los equipos principales y la valvulería se miden por unidades y dependen más del tiempo de alineación y prueba que del volumen de material. Separarlos así permite aplicar a cada partida el rendimiento técnico que le corresponde en el Capítulo 4, en lugar de recurrir a un rendimiento medio poco representativo.

3.3 Interfaces y límites de suministro

En cualquier proyecto industrial es fundamental definir con claridad los límites de responsabilidad. En este caso, el alcance mecánico se integra con otros sistemas existentes en planta, por lo que se establecen interfaces técnicas con:

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL ALCANCE TÉCNICO DEL PROYECTO

- Redes de vapor existentes.
- Sistemas eléctricos.
- Sistemas de control.
- Estructuras civiles preexistentes.

El proyecto parte de que las infraestructuras principales ya están disponibles y operativas, y limita su intervención al ámbito mecánico necesario para la ampliación.

Esta definición clara de interfaces reduce la incertidumbre y permite acotar mejor la estimación económica.

Dejar fuera del alcance las redes de vapor, los sistemas eléctricos y de control, y las estructuras civiles no elimina la necesidad de coordinarse con ellos: simplemente traslada esa coordinación a los puntos de interfaz. Cada conexión con una instalación existente —una toma de vapor, un cuadro eléctrico, una cimentación— es también un punto donde pueden aparecer imprevistos, por lo que identificarlo pronto en este capítulo resulta clave para el análisis de riesgos del Capítulo 7.

3.4 Estrategia de ejecución: prefabricación en taller y montaje en planta

Uno de los aspectos estratégicos más relevantes del proyecto es cómo se reparten las actividades entre taller y planta.

Según el cálculo detallado del Anexo III, en torno al 33% de las horas totales del proyecto se ejecutan en taller, concentradas sobre todo en la prefabricación de tuberías y soportes; el resto —montaje de equipos, válvulas, accesorios, pruebas y acabados— se realiza necesariamente en planta. Aun así, maximizar la prefabricación en taller allí donde es técnicamente posible sigue siendo relevante, porque las condiciones de trabajo son más controladas y los rendimientos más altos que en campo.

Las ventajas de esta estrategia son:

- Mayor productividad.

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL ALCANCE TÉCNICO DEL PROYECTO

- Mejor control de calidad.
- Reducción de riesgos en planta.
- Menor interferencia con la operación existente.

Esta decisión tiene un impacto directo en el cálculo de horas del Anexo III y en la planificación recogida en el Anexo V.

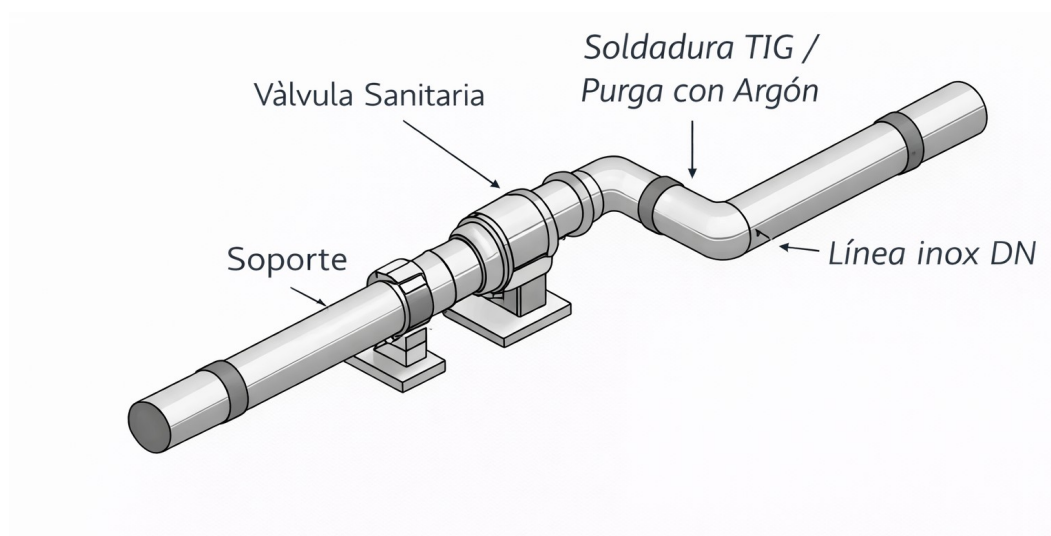


Ilustración 3: Isométrico conceptual de línea sanitaria prefabricada.

3.5 Entregables técnicos y documentación asociada

Además de la ejecución física de los trabajos, el alcance incluye generar la documentación técnica que garantice la trazabilidad y el cumplimiento normativo.

Entre los entregables principales se encuentran:

- Planos “as-built”.
- Certificados de materiales.
- Procedimientos de soldadura.
- Registros de inspección.
- Protocolos de pruebas hidráulicas.

Capítulo 4. MODELO DE ESTIMACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

- Dossier final de calidad.

La gestión documental forma parte del coste indirecto del proyecto y se integra en el modelo económico global.

Capítulo 4. MODELO DE ESTIMACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Con el alcance ya definido, este capítulo explica cómo se traduce ese alcance en horas de trabajo y en costes. El método parte de mediciones y de rendimientos técnicos, no de ratios globales, de modo que cada cifra del modelo pueda justificarse a partir de una decisión técnica concreta.

4.1 Enfoque general de estimación

La estimación económica de este trabajo sigue un enfoque bottom-up: parte del nivel más detallado del alcance técnico y llega hasta la consolidación final del coste global del proyecto. Este método mantiene la coherencia entre las magnitudes físicas (metros de tubería, número de equipos, número de válvulas) y los resultados económicos finales.

Frente a estimaciones basadas en ratios globales o en costes por unidad de capacidad instalada, este enfoque parte de la medición individualizada de partidas y de la aplicación de rendimientos técnicos realistas. Así, cada hora de trabajo y cada partida económica quedan directamente vinculadas al alcance definido en el capítulo anterior y desarrollado cuantitativamente en los anexos correspondientes.

El modelo se estructura en las siguientes etapas:

- Desglose del alcance en partidas medibles.
- Aplicación de rendimientos técnicos por tipo de actividad.
- Cálculo de horas necesarias.
- Asignación de costes horarios.
- Integración de suministros y subcontratas.

Capítulo 4. MODELO DE ESTIMACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

- Incorporación de gastos generales.
- Aplicación de provisión por imprevistos y margen industrial.

Este procedimiento permite justificar cada componente del coste total y garantiza su trazabilidad.

4.2 Preciario y mediciones

La base del modelo económico es el preciario técnico del Anexo IV, que recoge las principales partidas del proyecto:

- Tuberías por bandas de diámetro.
- Válvulas y accesorios.
- Bombas centrífugas sanitarias.
- Intercambiadores de calor.
- Depósitos intermedios.
- Soportes estructurales.
- Medios auxiliares.

Para cada partida se establece una unidad de medida coherente (metro lineal, unidad, tonelada, etc.) y una cuantificación estimada a partir del alcance técnico.

Agrupar las tuberías por bandas de diámetro es una simplificación razonable del modelo: evita un nivel de detalle excesivo que no aportaría valor a efectos académicos, sin dejar de capturar la variación de rendimiento asociada a diámetros mayores o menores.

Las mediciones son la base cuantitativa sobre la que se aplican los rendimientos técnicos para calcular las horas.

El nivel de detalle del preciario se ha calibrado para que sea coherente con el propósito académico del trabajo: suficiente para representar con fidelidad la estructura de costes del proyecto, pero sin llegar al desglose exhaustivo de una

Capítulo 4. MODELO DE ESTIMACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

oferta comercial real, que incluiría precios unitarios negociados con proveedores concretos y condiciones contractuales específicas.

4.3 Rendimientos y cálculo de horas

El cálculo de horas se ha hecho aplicando rendimientos técnicos diferenciados según:

- Tipo de actividad (prefabricación o montaje).
- Diámetro de tubería.
- Instalación de equipos.
- Actividades auxiliares (alineación, pruebas, etc.).

En la fase de prefabricación en taller los rendimientos son superiores a los de montaje en planta, debido a:

- Entorno controlado.
- Mejor accesibilidad.
- Ausencia de interferencias.
- Mayor organización del flujo de trabajo.

En la fase de montaje en planta los rendimientos bajan ligeramente por:

- Restricciones de espacio.
- Coordinación con otras actividades.
- Necesidad de ajustes finales.
- Condiciones variables del entorno.

El Anexo III recoge el cálculo detallado de horas por partida y su distribución entre taller y planta. A partir de esas horas se obtiene el volumen total de trabajo necesario para ejecutar el proyecto.

Capítulo 4. MODELO DE ESTIMACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

4.4 Dimensionamiento de recursos humanos

Una vez determinadas las horas totales necesarias, se dimensionan los recursos humanos requeridos para cumplir el plazo previsto.

Se distinguen dos grandes categorías:

Personal directo

Incluye a los trabajadores cuya actividad está directamente relacionada con la ejecución física de las partidas:

- Soldadores de acero inoxidable.
- Tuberos.
- Montadores mecánicos.

Personal indirecto

Incluye los perfiles de coordinación y soporte:

- Jefe de obra.
- Encargado de taller.
- Técnico de prevención.
- Inspector de calidad.
- Personal administrativo y logístico.

La duración estimada del proyecto es de diez meses efectivos de ejecución en planta, con una jornada laboral ampliada coherente con entornos industriales. A partir de las horas totales y del calendario previsto se calcula el número medio y máximo de trabajadores necesarios en cada fase.

Este dimensionamiento se refleja en el histograma de recursos del Anexo V.

El personal indirecto no se ha dimensionado como un porcentaje fijo del personal directo, sino en función de las tareas reales de coordinación: un jefe de obra y un encargado de taller son necesarios independientemente del tamaño del equipo,

Capítulo 4. MODELO DE ESTIMACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

mientras que el técnico de prevención y el inspector de calidad sí crecen si el número de frentes de trabajo simultáneos aumenta. Esta distinción evita sobredimensionar la estructura indirecta en un proyecto de tamaño medio como el analizado.

4.5 Estructura de costes

El coste total del proyecto se estructura en los siguientes bloques principales:

- Coste de personal en taller.
- Coste de personal en planta.
- Suministros de materiales y equipos.
- Subcontrataciones.
- Gastos generales.

Coste de personal

Se obtiene multiplicando las horas totales por el coste horario de cada perfil profesional. Los costes horarios considerados incluyen el salario bruto, las cotizaciones sociales y los costes asociados a la empresa.

Suministros

Incluyen los materiales (tuberías, válvulas, accesorios) y los equipos principales (bombas, intercambiadores, depósitos). En proyectos de industria alimentaria, el coste de suministros supone una parte significativa del presupuesto total por el uso intensivo de acero inoxidable y equipos certificados.

Subcontratas

Se contemplan trabajos específicos como el aislamiento térmico, los ensayos no destructivos y las maniobras con grúa. Estas partidas permiten especializar y optimizar los recursos propios.

Gastos generales

Capítulo 4. MODELO DE ESTIMACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Incluyen los costes de estructura empresarial, medios auxiliares, seguros y gestión administrativa.

La suma de estos bloques da el coste base del proyecto, antes de aplicar provisiones y margen.

4.6 Imprevistos y margen industrial

En cualquier proyecto industrial existe un nivel inherente de incertidumbre. Para absorber posibles desviaciones se incorpora una provisión por imprevistos, con un porcentaje coherente con las prácticas habituales del sector para proyectos de complejidad media.

Se aplica además un margen industrial que retribuye el riesgo asumido por el contratista y la gestión integral del proyecto.

Ambos elementos convierten el coste base en una estimación económica completa y realista.

4.7 Sensibilidad y robustez del modelo

Para evaluar la robustez del modelo se realiza un análisis conceptual de sensibilidad ante variaciones en parámetros clave:

- Variación en rendimientos.
- Variación en precios de materiales.
- Retrasos en planificación.

Este análisis permite identificar las variables más críticas y refuerza la coherencia del modelo desarrollado.

El análisis se plantea de forma cualitativa, valorando qué ocurriría si cada uno de estos tres parámetros se desviara de manera moderada respecto a la hipótesis central. Una caída de rendimientos afecta directamente a las horas totales y, por tanto, al coste de personal y a la duración del proyecto; una subida en el precio de los materiales impacta sobre todo en el bloque de suministros, que es el de mayor

Capítulo 4. MODELO DE ESTIMACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

peso relativo; y un retraso en la planificación repercute en los gastos generales, al prolongarse la necesidad de personal indirecto y de estructura de obra.

De los tres, el rendimiento es el parámetro que más condiciona el resultado global, porque afecta simultáneamente al coste y al plazo. Por eso, aunque el modelo no incorpora un análisis probabilístico formal, la provisión por imprevistos definida en el apartado 4.6 se ha dimensionado teniendo en cuenta precisamente esta sensibilidad.

4.8 Justificación detallada de la estrategia taller-planta

Que en torno a un tercio de las horas se ejecuten en taller no responde a una preferencia organizativa cualquiera, sino a una estrategia económica y técnica fundamentada: se prefabrica todo lo que es técnicamente posible prefabricar, mientras que actividades como el montaje de equipos, la instalación de válvulas o las pruebas hidráulicas exigen necesariamente presencia en planta.

En proyectos de ampliación en planta existente, el montaje en campo suele presentar restricciones importantes:

- Espacios reducidos.
- Interferencias con líneas en operación.
- Necesidad de coordinación con otros equipos.
- Limitaciones de seguridad.
- Ventanas temporales acotadas para la conexión final.

Estas condiciones reducen los rendimientos de forma sistemática. El taller, en cambio, permite:

- Trabajar en una posición óptima.
- Mejor organización logística.
- Disponibilidad continua de herramientas.
- Supervisión directa y constante.

Capítulo 4. MODELO DE ESTIMACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Desde el punto de vista económico, la mejora de rendimiento compensa de sobra los costes adicionales de transportar los prefabricados a planta.

La prefabricación reduce además la incertidumbre asociada al montaje en campo, disminuyendo la probabilidad de retrabajos y desviaciones de plazo.

Esta estrategia impacta directamente en el cálculo de horas del Anexo III y condiciona el histograma de recursos del Anexo V.

4.9 Relación entre coste directo y coste total

En el análisis económico, el coste de personal directo es un componente relevante, aunque no mayoritario, del coste total del proyecto.

En proyectos de montaje mecánico en industria alimentaria, el peso relativo de cada bloque suele distribuirse aproximadamente así:

- Personal directo e indirecto: 8–10%.
- Suministros y equipos: 45–50%.
- Subcontratas y medios auxiliares: 14–16%.
- Gastos generales y estructura: 25–28%.

Esta distribución, extraída del Anexo III, confirma que los suministros concentran la mayor parte del presupuesto por el uso intensivo de acero inoxidable y equipos certificados. Llama la atención, sin embargo, que los gastos generales representen una proporción tan alta: en proyectos comparables este bloque suele tener un peso sensiblemente inferior, lo que apunta a una posible sobreestimación en el Anexo III.

Comparar el coste base con el coste total con margen permite valorar la sostenibilidad económica del proyecto desde la perspectiva del contratista.

Esta relación entre coste base y coste total es, además, un indicador de la robustez comercial del proyecto: cuanto más ajustado sea el margen aplicado sobre un coste base ya de por sí ajustado, menor será la capacidad del contratista para absorber desviaciones no cubiertas por la provisión de imprevistos. El equilibrio adoptado

Capítulo 4. MODELO DE ESTIMACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

en este trabajo busca evitar ambos extremos: un margen insuficiente que ponga en riesgo la viabilidad del contratista, o un margen excesivo que reste competitividad a la oferta.

4.10 *Análisis del impacto del plazo en el coste*

El plazo de ejecución de diez meses no es arbitrario: responde a la necesidad de equilibrar:

- Disponibilidad de recursos.
- Ritmo de prefabricación.
- Ventanas de intervención en planta.
- Minimización de picos excesivos de personal.

Reducir el plazo implicaría aumentar el número simultáneo de trabajadores, lo que podría generar:

- Disminución de eficiencia.
- Mayor complejidad organizativa.
- Incremento de riesgos.
- Aumento de costes indirectos.

Por el contrario, ampliar en exceso el plazo incrementaría los gastos generales y el coste de personal indirecto.

El plazo adoptado representa, por tanto, un equilibrio entre eficiencia productiva y control de costes.

4.11 *Integración económica global*

La consolidación final del modelo económico no se limita a sumar partidas: exige comprobar la coherencia entre:

- Horas totales y duración del proyecto.

Capítulo 5. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

- Número máximo de trabajadores y capacidad organizativa.
- Volumen de suministros y alcance técnico.
- Nivel de margen aplicado y riesgo asumido.

El resultado obtenido presenta coherencia estructural y se sitúa dentro de rangos realistas para proyectos industriales de ampliación en planta alimentaria.

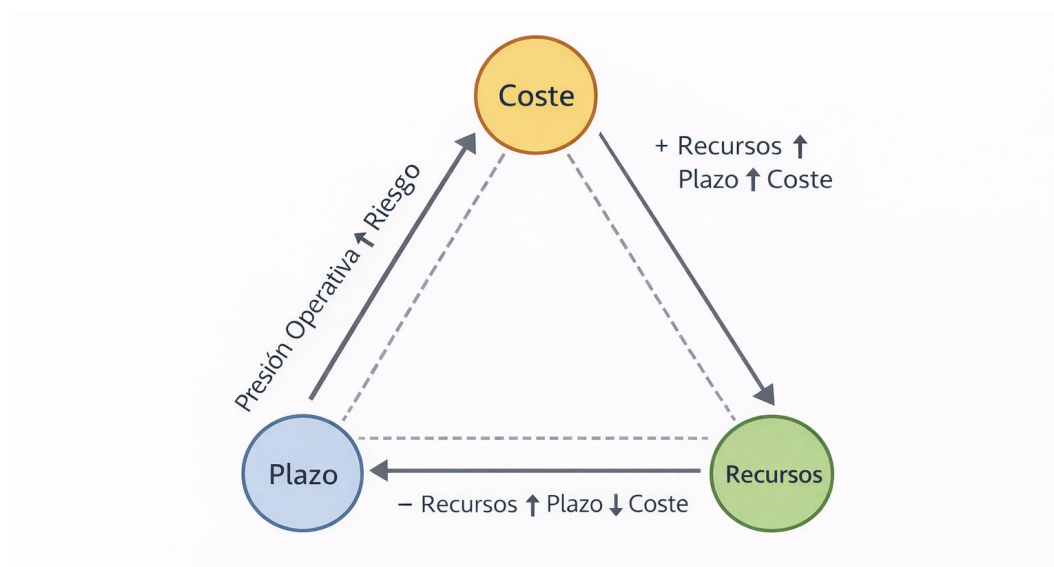


Ilustración 4: Relación coste-plazo-recursos (esquema conceptual).

Capítulo 5. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

El modelo de estimación desarrollado en el capítulo anterior se consolida aquí en un presupuesto estructurado por bloques de coste. El objetivo no es solo obtener una cifra final, sino entender qué partidas concentran el mayor peso económico y por qué.

5.1 Consolidación del presupuesto base

A partir del modelo técnico-económico del Capítulo 4, se consolida el presupuesto base del proyecto integrando las mediciones del preciado, los rendimientos adoptados y la estructura de costes de personal, suministros y subcontrataciones.

Capítulo 5. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

El presupuesto base representa el coste directo necesario para ejecutar el alcance definido bajo las hipótesis técnicas establecidas, considerando:

- Fabricación y prefabricación en taller.
- Montaje en planta.
- Suministro de materiales y equipos.
- Subcontrataciones especializadas.
- Gastos generales asociados a la ejecución.

La estimación se ha hecho con un enfoque bottom-up, partiendo de unidades físicas cuantificables y de rendimientos coherentes con las prácticas industriales habituales.

5.2 Desglose estructural del presupuesto

El presupuesto puede agruparse en los siguientes bloques principales:

a) Costes de personal en taller

Incluyen las horas de fabricación, soldadura sanitaria, montaje de soportación y pruebas previas en un entorno controlado.

b) Costes de personal en planta

Asociados al montaje final, los ajustes, las alineaciones y las pruebas de puesta en marcha.

c) Suministros y equipos

Incluyen las tuberías de acero inoxidable sanitario, válvulas, accesorios, soportes, elementos de fijación y equipos auxiliares.

d) Subcontrataciones especializadas

Actividades como ensayos no destructivos, inspecciones reglamentarias o trabajos auxiliares.

Capítulo 5. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

e) Gastos generales e indirectos

Costes de gestión técnica, supervisión, coordinación y estructura organizativa del proyecto.

La distribución porcentual obtenida es coherente con proyectos industriales de ampliación en entorno alimentario, donde el peso de los suministros es alto por el uso de materiales certificados y componentes sanitarios.

Esta distribución tiene una lectura práctica: el margen de maniobra del contratista está más en la gestión de compras y en la negociación con proveedores que en la productividad de la mano de obra, ya que los suministros concentran la mayor parte del presupuesto. Optimizar los plazos de entrega y las condiciones de compra de los equipos sanitarios resulta, por tanto, tan relevante como mejorar los rendimientos de montaje.

5.3 Provisión por imprevistos y margen industrial

Al presupuesto base se incorporan los siguientes conceptos:

Provisión por imprevistos, destinada a absorber desviaciones razonables derivadas de la incertidumbre técnica o de variaciones en los rendimientos.

Margen industrial, necesario para garantizar la viabilidad económica del contratista y cubrir los riesgos empresariales inherentes al proyecto.

Incluir estos dos factores permite convertir el coste base estimado en un presupuesto total realista desde el punto de vista contractual.

5.4 Coherencia económica global

El presupuesto total obtenido es coherente con:

- El volumen de horas calculado.
- La duración prevista del proyecto.
- La proporción taller-planta adoptada.
- El tipo de materiales empleados.

Capítulo 6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y GESTIÓN DE RECURSOS

- El nivel de exigencia higiénico-sanitaria propio de la industria alimentaria.

En cifras, el Anexo III desglosa el coste base en personal (taller y planta), gastos generales y suministros, con un total aproximado de 5,04 millones de euros; sumando subcontratas (0,89 millones), el coste base completo asciende a unos 5,93 millones de euros. El propio Anexo III añade una provisión por imprevistos del 8% y un margen industrial del 12%, pero solo aplica el imprevisto al calcular el total final (6.399.707 €), sin sumar el margen, lo que constituye una inconsistencia en el cálculo del presupuesto final. Si ambos porcentajes se aplican correctamente sobre el coste base completo, el presupuesto total de la oferta asciende a aproximadamente 7,11 millones de euros, cifra más coherente con el orden de magnitud esperado para una ampliación mecánica de tamaño medio en industria alimentaria.

Este capítulo formaliza, por tanto, la traducción económica del modelo técnico desarrollado previamente y garantiza la coherencia entre alcance, recursos, planificación y coste final.

Capítulo 6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y GESTIÓN DE RECURSOS

El presupuesto y las horas calculadas solo tienen sentido si se distribuyen en el tiempo de forma realista. Este capítulo desarrolla esa distribución temporal y comprueba que los recursos dimensionados en el Capítulo 4 son compatibles con el plazo de ejecución previsto.

6.1 Enfoque general de planificación

La planificación del proyecto no se ha planteado solo como una representación temporal de actividades, sino como una herramienta de coherencia entre el alcance técnico, la estimación de horas y la disponibilidad de recursos.

En proyectos industriales, la planificación cumple tres funciones fundamentales:

- Ordenar técnicamente la secuencia de actividades.
- Garantizar que los recursos dimensionados son suficientes.

Capítulo 6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y GESTIÓN DE RECURSOS

- Detectar las actividades críticas que condicionan el plazo final.

En este trabajo, la planificación toma como referencia el mes 0 para el inicio de los trabajos en planta. Se consideran meses negativos para las fases previas de ingeniería y prefabricación inicial, y el horizonte se prolonga hasta después de la finalización física para incluir la revisión y el cierre.

Esta visión extendida permite analizar el proyecto como un ciclo completo y no solo como una fase de montaje.

6.2 Desglose estructurado de actividades (WBS)

El proyecto se ha descompuesto siguiendo una estructura jerárquica de trabajo (Work Breakdown Structure, WBS), que permite identificar paquetes de trabajo claramente definidos.

Nivel 1 – Proyecto global

Nivel 2 – Grandes fases

Ingeniería y planificación

Compras y aprovisionamiento

Prefabricación en taller

Montaje en planta

Pruebas y puesta en marcha

Cierre y documentación final

Nivel 3 – Actividades específicas

Fabricación de spools por banda de diámetro

Instalación de bombas

Montaje de intercambiadores

Instalación de soportes

Capítulo 6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y GESTIÓN DE RECURSOS

Pruebas hidráulicas

Elaboración de dossier final

Esta estructura vincula cada paquete de trabajo con horas estimadas y recursos asignados, y da coherencia entre la planificación y el modelo económico.

Estructurar el trabajo en tres niveles —proyecto, fases y actividades específicas— responde a una necesidad práctica: el nivel 2 permite cuadrar el WBS con los grandes bloques del modelo de costes del Capítulo 4, mientras que el nivel 3 es el que realmente se utiliza para asignar horas y recursos en el cronograma. Un WBS más detallado añadiría complejidad sin aportar precisión adicional a los efectos de este trabajo.

6.3 Secuencia lógica de ejecución

La secuencia de actividades responde a dependencias técnicas inevitables.

En primer lugar, la ingeniería de detalle y la revisión del alcance preceden al aprovisionamiento: sin una definición clara de materiales y equipos no es posible iniciar las compras.

Después, la recepción de materiales en taller permite iniciar la prefabricación, fase que puede solaparse parcialmente con el aprovisionamiento de los equipos principales.

El montaje en planta comienza cuando existe un volumen suficiente de prefabricados y se han liberado las zonas de intervención.

Las pruebas hidráulicas se realizan una vez terminado el montaje mecánico principal.

Por último, la documentación y el cierre se desarrollan tras la verificación completa del sistema.

Esta secuencia garantiza continuidad lógica y reduce los tiempos muertos.

Capítulo 6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y GESTIÓN DE RECURSOS

6.4 Identificación conceptual de la ruta crítica

Aunque el trabajo no incluye un análisis detallado con software especializado, sí es posible identificar conceptualmente la ruta crítica del proyecto.

Las actividades que más condicionan el plazo son:

- Suministro de intercambiadores de calor.
- Prefabricación de líneas de mayor diámetro.
- Disponibilidad de ventanas para conexión en planta.
- Pruebas finales antes de la puesta en marcha.

Un retraso en cualquiera de estas actividades afectaría directamente a la fecha final del proyecto.

Por eso deben recibir un seguimiento especial durante la ejecución.

6.5 Histograma de recursos y coherencia con horas estimadas

El histograma de recursos del Anexo V permite visualizar la evolución mensual del número de trabajadores directos e indirectos.

Se observa una fase inicial con predominio de personal en taller, seguida de un incremento progresivo en planta durante el periodo central del proyecto.

La coherencia entre:

- las horas totales estimadas (Anexo III),
- la duración total del proyecto
- y el número máximo de trabajadores simultáneos

constituye una validación indirecta del modelo económico desarrollado.

Un histograma demasiado concentrado apuntaría a una infraestimación del plazo; uno demasiado disperso, a un sobredimensionamiento de recursos o a una ampliación innecesaria del calendario.

Capítulo 6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y GESTIÓN DE RECURSOS

El equilibrio alcanzado demuestra consistencia interna.

En términos numéricos, el modelo del Anexo III arroja un total aproximado de 9.027 horas de trabajo, de las cuales unas 2.930 horas se ejecutan en taller y 6.096 horas en planta. El histograma del Anexo V sitúa el pico máximo de personal simultáneo en 25 personas (19 directas y 6 indirectas), concentrado entre los meses 0 y 2 de ejecución, coincidiendo con el arranque del montaje en planta tras la fase inicial de prefabricación.

6.6 Análisis del orden de magnitud del presupuesto

El presupuesto obtenido se sitúa dentro del rango habitual para proyectos de ampliación mecánica en industria alimentaria de tamaño medio, donde el peso de los materiales sanitarios y los equipos certificados representa una fracción significativa del coste total.

Comparativamente, el coste por metro lineal instalado en acero inoxidable sanitario es bastante superior al de instalaciones industriales convencionales, no tanto por el material base como por:

- La exigencia de soldadura TIG sanitaria.
- La necesidad de trazabilidad.
- La inspección documental.
- El nivel de acabado superficial requerido.

El peso relativo de los suministros frente al coste de personal refleja además una característica típica del sector alimentario: invertir en materiales y equipos de calidad reduce el riesgo operativo a largo plazo.

El orden de magnitud obtenido resulta, por tanto, coherente con las prácticas industriales reales, lo que refuerza la validez del modelo desarrollado.

6.7 Control de avance físico y económico

En un proyecto real, el control se basa en comparar el avance planificado con el avance real.

Capítulo 6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y GESTIÓN DE RECURSOS

Se utilizan indicadores como:

- Porcentaje de avance físico.
- Horas consumidas frente a horas previstas.
- Coste acumulado frente a presupuesto.
- Desviación de plazo.

Aunque este trabajo no simula la ejecución real, el modelo desarrollado permitiría implantar un sistema de control basado en la medición periódica del avance por partidas.

La integración entre planificación y modelo económico facilita detectar pronto las desviaciones.

6.8 Relación entre planificación y riesgo

La planificación no solo organiza el tiempo: también actúa como herramienta de mitigación de riesgos.

Una planificación realista reduce:

- El riesgo de solapes conflictivos.
- La saturación de recursos.
- El incremento de accidentes.
- Las desviaciones económicas.

El cronograma se ha diseñado con márgenes razonables entre actividades críticas, para reducir la probabilidad de colapso ante pequeñas desviaciones.

6.9 Análisis detallado del histograma de recursos

El histograma de recursos no debe entenderse solo como una representación gráfica del número de trabajadores por mes, sino como una herramienta de validación estructural del modelo económico.

Capítulo 6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y GESTIÓN DE RECURSOS

En este proyecto, el histograma permite comprobar que:

- Las horas totales estimadas se distribuyen de forma coherente en el tiempo.
- No existen concentraciones excesivas de personal que comprometan la seguridad o la eficiencia.
- El número máximo de trabajadores simultáneos es realista para una ampliación de tamaño medio.
- La carga de trabajo en taller precede lógicamente al pico de montaje en planta.

El análisis mensual permite identificar tres fases diferenciadas:

Fase 1 – Prefabricación intensiva: se concentra sobre todo en taller y permite adelantar trabajo antes de que arranque el montaje en planta.

Fase 2 – Montaje principal en planta: se produce el mayor pico de recursos directos, especialmente montadores y soldadores.

Fase 3 – Ajustes finales y pruebas: baja el personal directo y aumenta el peso relativo de la supervisión y el control.

Esta evolución es coherente con la estrategia técnica definida en el Capítulo 3.

6.10 Equilibrio entre carga de trabajo y capacidad organizativa

Un error frecuente en proyectos industriales es sobredimensionar recursos para reducir el plazo sin tener en cuenta la pérdida de eficiencia que trae la saturación.

El modelo desarrollado busca un equilibrio entre:

- Número de trabajadores simultáneos.
- Capacidad de supervisión.
- Disponibilidad de medios auxiliares.
- Espacio físico en planta.

Capítulo 6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y GESTIÓN DE RECURSOS

Un incremento excesivo de personal en un entorno limitado puede generar interferencias, reducir el rendimiento y aumentar el riesgo de accidentes.

Por eso, el dimensionamiento adoptado prioriza la estabilidad y la coherencia frente a una reducción agresiva del plazo.

6.11 Relación entre planificación y control económico (Earned Value conceptual)

En proyectos reales se emplean metodologías como el Earned Value Management para evaluar el desempeño económico en relación con el avance físico.

Aunque no se ha implementado formalmente en este trabajo, el modelo desarrollado permitiría aplicar un esquema simplificado basado en:

- Presupuesto total estimado.
- Porcentaje de avance físico por partidas.
- Horas consumidas frente a horas previstas.

Este enfoque facilitaría detectar pronto las desviaciones y adoptar medidas correctoras.

6.12 Gestión de desviaciones potenciales

Durante la ejecución real podrían producirse desviaciones derivadas de:

- Retrasos en el suministro.
- Modificaciones de alcance.
- Problemas técnicos en el montaje.
- Disminución de rendimientos.

El modelo permite evaluar el impacto económico de estas desviaciones recalculando las horas y redistribuyendo los recursos en el cronograma.

La provisión por imprevistos actúa como colchón financiero ante estas situaciones.

Capítulo 7. GESTIÓN DE RIESGOS

6.13 Robustez temporal del proyecto

El cronograma desarrollado no debe interpretarse únicamente como una secuencia de actividades, sino como una herramienta de equilibrio organizativo.

En proyectos industriales reales, la presión por reducir el plazo puede llevar a decisiones contraproducentes, como sobrecargar recursos o ejecutar simultáneamente actividades incompatibles.

El modelo adoptado busca evitar estos efectos mediante una distribución progresiva de la carga de trabajo y un pico controlado de recursos en la fase central.

La robustez temporal del proyecto no se basa en la ausencia de riesgos, sino en la existencia de márgenes organizativos que permitan absorber desviaciones sin comprometer la fecha final.

Esta filosofía de planificación preventiva es uno de los elementos diferenciales del modelo desarrollado.

El dimensionamiento de recursos.

Un modelo económico que no incorpore explícitamente el riesgo subestima la complejidad real del proyecto.

Capítulo 7. GESTIÓN DE RIESGOS

Ningún proyecto industrial se ejecuta exactamente como se planifica. Este capítulo identifica los riesgos técnicos, económicos y organizativos más relevantes del proyecto, y explica cómo se han tenido en cuenta en el modelo económico y en la planificación de los capítulos 4 a 6.

7.1 Metodología de identificación y evaluación de riesgos

La gestión de riesgos es un elemento estructural en la planificación de cualquier proyecto industrial. No debe entenderse como un ejercicio teórico aislado, sino como una herramienta de toma de decisiones que influye directamente en la estimación económica y en la planificación temporal.

Capítulo 7. GESTIÓN DE RIESGOS

La metodología adoptada en este trabajo se basa en las siguientes etapas:

- Identificación de riesgos potenciales.
- Clasificación por tipología.
- Evaluación cualitativa de probabilidad e impacto.
- Definición de medidas de mitigación.
- Estimación del riesgo residual.

Este enfoque integra el análisis de riesgos dentro del modelo técnico-económico desarrollado en el Capítulo 4.

En la práctica, cada riesgo identificado se valora de forma cualitativa combinando dos ejes: la probabilidad de que ocurra y el impacto que tendría sobre el coste o el plazo si llegara a materializarse. Los riesgos con probabilidad e impacto altos — como un fallo de soldadura detectado tarde o un retraso en el suministro de intercambiadores— son los que reciben medidas de mitigación específicas, mientras que los de impacto menor se asumen dentro de la provisión general por imprevistos.

7.2 Clasificación de riesgos

Los riesgos identificados se agrupan en cinco categorías principales:

- Riesgos técnicos.
- Riesgos de planificación.
- Riesgos económicos.
- Riesgos operativos.
- Riesgos de seguridad y salud.

Esta clasificación facilita la estructuración del análisis y permite asociar medidas de mitigación específicas a cada tipología.

Capítulo 7. GESTIÓN DE RIESGOS

7.3 Riesgos técnicos

Los riesgos técnicos están asociados al diseño, la fabricación y el montaje de los sistemas mecánicos.

Entre los principales destacan:

- Incompatibilidades dimensionales con instalaciones existentes.
- Necesidad de ajustes en campo no previstos.
- Problemas en la alineación de equipos.
- Fallos en soldaduras sanitarias.
- Errores en la soportación o en la compensación de dilataciones.

En industria alimentaria, un defecto de soldadura puede obligar a desmontar por completo el tramo afectado, con los retrasos y sobrecostes que eso conlleva.

La estrategia de prefabricación en taller reduce parcialmente estos riesgos, al permitir un mayor control de calidad antes del montaje en planta.

7.4 Riesgos de planificación

Los riesgos de planificación están vinculados a posibles desviaciones sobre el calendario previsto.

Entre los más relevantes se encuentran:

- Retrasos en el suministro de intercambiadores.
- Demoras en la entrega de materiales.
- Interferencias con otros trabajos en planta.
- Limitaciones en las ventanas de parada para la conexión final.

Un retraso en actividades críticas puede afectar directamente a la fecha final del proyecto, sobre todo si se encuentran en la ruta crítica conceptual definida en el Capítulo 6.

Capítulo 7. GESTIÓN DE RIESGOS

7.5 Riesgos económicos

Los riesgos económicos afectan al presupuesto global del proyecto y pueden derivarse de:

- Variación en los precios del acero inoxidable.
- Incremento de los costes laborales.
- Reducción inesperada de los rendimientos.
- Modificaciones de alcance solicitadas por el cliente.

La provisión por imprevistos incorporada en el modelo económico actúa como mecanismo de absorción parcial de estos riesgos.

7.6 Riesgos operativos y de seguridad

En un entorno industrial alimentario, coexistir con la operación en marcha introduce riesgos adicionales:

- Interferencia con líneas activas.
- Restricciones de seguridad.
- Riesgo de contaminación cruzada.
- Accidentes en trabajos en altura o en la manipulación de cargas.

Coordinarse con el cliente e implantar un plan de seguridad específico son elementos esenciales para reducir la probabilidad de incidentes.

7.7 Integración del riesgo en el modelo económico

El análisis de riesgos no es un elemento aislado: está directamente vinculado con:

- El porcentaje de imprevistos.
- El margen industrial aplicado.
- La estrategia de planificación adoptada.

Capítulo 8. PLAN DE CALIDAD Y PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

Capítulo 8. PLAN DE CALIDAD Y PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

La calidad y la seguridad no son un añadido al final del proyecto, sino condiciones que se construyen desde la prefabricación en taller hasta la puesta en marcha. Este capítulo recoge los controles y las medidas preventivas adoptadas en cada fase.

8.1 Enfoque general del plan de calidad

En proyectos industriales de montaje mecánico, sobre todo en entornos alimentarios, la calidad no debe entenderse como una fase final de inspección, sino como un proceso transversal presente en todas las etapas del proyecto.

El plan de calidad de este trabajo tiene como objetivos:

- Garantizar el cumplimiento del alcance técnico definido.
- Asegurar la conformidad con la normativa aplicable.
- Minimizar retrabajos y desviaciones.
- Garantizar la trazabilidad documental.

El sistema de calidad se integra desde la fase de prefabricación en taller hasta la puesta en marcha final.

Por ejemplo, un defecto de soldadura no detectado en taller no es solo un problema de calidad: si se descubre durante el montaje en planta, obliga a interrumpir el avance, desmontar el tramo afectado y repetir la prueba, con el consiguiente impacto en plazo y en coste de personal indirecto. Tratar la calidad como un proceso transversal, y no como una inspección final, es lo que permite detectar este tipo de defectos cuando todavía son baratos de corregir.

8.2 Control de fabricación en taller

La prefabricación en taller permite aplicar controles de calidad más exhaustivos que en el entorno de planta.

Capítulo 8. PLAN DE CALIDAD Y PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

Las principales actividades de control incluyen:

- Verificación dimensional de los spools prefabricados.
- Inspección visual de soldaduras.
- Comprobación de alineación y acabados.
- Registro documental de los materiales utilizados.
- Identificación y marcado de los prefabricados.

El control sistemático en taller reduce de forma notable la probabilidad de encontrar defectos en la fase de montaje en planta, donde corregirlos resulta más costoso.

8.3 Control de montaje en planta

Durante el montaje en planta se realizan verificaciones adicionales:

- Comprobación de nivelación de los equipos.
- Verificación de alineación bomba-motor.
- Control del apriete de las conexiones.
- Inspección de la soportación.
- Revisión de pendientes en las líneas sanitarias.

En entornos alimentarios, verificar la drenabilidad y la ausencia de zonas muertas es un elemento crítico.

8.4 Pruebas y ensayos

Antes de la puesta en servicio se realizan pruebas que validan la integridad mecánica del sistema:

Pruebas hidráulicas

Capítulo 8. PLAN DE CALIDAD Y PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

Permiten comprobar la estanqueidad de las líneas instaladas, aplicando presiones superiores a las de operación para garantizar la seguridad estructural.

Pruebas de funcionamiento en vacío

En bombas y otros equipos rotativos se verifica el correcto funcionamiento sin producto, comprobando vibraciones, ruidos y estabilidad.

Verificación de limpieza

En las líneas en contacto con producto se realiza un procedimiento de limpieza inicial que permite validar la ausencia de residuos.

Estas pruebas forman parte de la documentación final que se entrega al cliente.

8.5 Control documental y trazabilidad

La trazabilidad es un requisito fundamental en la industria alimentaria. El proyecto contempla generar un dossier final que incluye:

- Certificados de materiales.
- Registros de soldadores cualificados.
- Protocolos de inspección.
- Resultados de pruebas hidráulicas.
- Planos “as-built”.

Una correcta gestión documental garantiza la conformidad del proyecto y facilita auditorías posteriores.

8.6 Prevención de riesgos laborales (PRL)

Ejecutar trabajos mecánicos en una planta industrial conlleva riesgos inherentes que hay que gestionar de forma preventiva.

Los principales riesgos asociados incluyen:

- Trabajos en altura.

Capítulo 8. PLAN DE CALIDAD Y PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

- Manipulación de cargas pesadas.
- Soldadura y riesgo térmico.
- Interferencia con instalaciones en funcionamiento.
- Riesgo eléctrico indirecto en equipos rotativos.

El plan de prevención contempla:

- Formación específica del personal.
- Uso obligatorio de equipos de protección individual.
- Coordinación con el responsable de seguridad de planta.
- Permisos de trabajo para actividades críticas.
- Señalización de las zonas de intervención.

La prevención no solo reduce la probabilidad de accidentes: también evita retrasos y sobrecostos asociados a incidentes.

8.7 Impacto del sistema de calidad en el modelo económico

El cumplimiento de los requisitos de calidad y seguridad tiene un impacto directo en:

- Los rendimientos de ejecución.
- El coste de las inspecciones.
- La necesidad de personal indirecto.
- La documentación administrativa.

Aun así, invertir en calidad reduce de forma notable el riesgo de retrabajos y de desviaciones económicas posteriores.

El plan de calidad, por tanto, no debe verse como un coste añadido, sino como una herramienta de control y optimización.

Capítulo 9. ANÁLISIS CRÍTICO Y LIMITACIONES

Capítulo 9. ANÁLISIS CRÍTICO Y LIMITACIONES

Tras desarrollar el modelo técnico-económico, es necesario someterlo a una revisión crítica. Este capítulo señala sus limitaciones, las hipótesis que podrían no cumplirse en un proyecto real y las diferencias respecto a un contrato de ejecución convencional.

9.1 Evaluación global del modelo desarrollado

El modelo técnico-económico presentado en este trabajo se ha construido para simular de forma coherente la gestión integral de un proyecto industrial de ampliación en planta alimentaria. No obstante, como cualquier modelo, tiene limitaciones que conviene analizar con espíritu crítico.

En primer lugar, el modelo parte de una definición cerrada del alcance. En la práctica profesional, el alcance de un proyecto industrial rara vez permanece del todo estable: modificaciones solicitadas por el cliente, cambios regulatorios o ajustes técnicos pueden alterar de forma significativa las condiciones iniciales.

Por tanto, aunque el modelo es coherente bajo las hipótesis adoptadas, su precisión depende directamente de lo estable que se mantenga el alcance definido.

En esta revisión se han incorporado al cuerpo de la memoria las magnitudes clave del Anexo III y del Anexo V (presupuesto, horas totales y pico de personal), lo que refuerza la autonomía de lectura del documento. Ese mismo ejercicio de traer los números a la memoria ha permitido detectar, además, un desajuste entre el reparto taller-planta narrado en los capítulos 3 y 4 y el que realmente arroja el Anexo III, así como una inconsistencia en el cálculo del presupuesto final: ambos se han corregido en esta versión, si bien sería conveniente actualizar también los anexos originales para mantener la coherencia entre memoria y anexos.

9.2 Limitaciones en la estimación de rendimientos

Uno de los elementos más sensibles del modelo es la estimación de rendimientos. En este trabajo se han adoptado valores promedio coherentes con la práctica industrial, pero en un entorno real los rendimientos pueden variar por múltiples factores:

Capítulo 9. ANÁLISIS CRÍTICO Y LIMITACIONES

- Experiencia del equipo de trabajo.
- Condiciones específicas de acceso en planta.
- Nivel de coordinación con otros contratistas.
- Condiciones ambientales.
- Cambios de turno o rotación de personal.

Un descenso del 10-15% en los rendimientos podría generar un incremento significativo en las horas totales, con impacto tanto en el coste directo como en los gastos generales asociados al plazo.

En proyectos reales, esta incertidumbre suele gestionarse mediante análisis probabilísticos o escenarios múltiples (optimista, probable y pesimista), algo que este trabajo no desarrolla en profundidad.

9.3 Sensibilidad del modelo ante variaciones económicas

El modelo asume una estabilidad relativa en los precios de materiales y en los costes laborales. Sin embargo, el mercado industrial está sujeto a volatilidad, especialmente en materias primas como el acero inoxidable.

Una subida repentina en el precio del acero podría alterar de forma significativa el coste de suministros, uno de los bloques más relevantes del presupuesto.

Del mismo modo, los incrementos salariales o los cambios en convenios laborales podrían impactar en el coste de personal.

La provisión por imprevistos actúa como amortiguador parcial, pero no sustituye a los mecanismos contractuales de revisión de precios que suelen incluirse en proyectos reales.

9.4 Diferencias entre modelo académico y proyecto contractual real

En un proyecto contractual real intervienen factores adicionales que este trabajo no ha modelizado por completo:

- Negociación de condiciones contractuales.

Capítulo 9. ANÁLISIS CRÍTICO Y LIMITACIONES

- Penalizaciones por retraso.
- Bonificaciones por adelanto.
- Garantías económicas.
- Certificaciones mensuales de obra.
- Flujo de caja y financiación.

Este modelo no incluye un análisis financiero detallado ni un estudio de cash flow: se centra exclusivamente en la dimensión técnico-económica del coste total.

Estas diferencias no invalidan el modelo, pero sí acotan su uso: sirve para razonar sobre el orden de magnitud del proyecto y sobre la lógica de sus decisiones técnicas, no para sustituir la oferta económica que un contratista presentaría en un concurso real, donde intervienen además estrategia comercial, relación previa con el cliente y condiciones de mercado que quedan fuera del alcance de este trabajo.

9.5 Gestión del riesgo residual

Aunque se ha incorporado un análisis de riesgos estructurado, siempre queda un riesgo residual no cuantificado.

Este riesgo puede derivarse de:

- Eventos imprevistos de gran impacto.
- Errores humanos.
- Fallos de coordinación.
- Incidentes de seguridad.

En proyectos reales, este riesgo residual suele gestionarse mediante seguros específicos, cláusulas contractuales y políticas internas de gestión de riesgos empresariales.

Capítulo 9. ANÁLISIS CRÍTICO Y LIMITACIONES

9.6 Posibles mejoras metodológicas

El modelo podría mejorarse incorporando herramientas de análisis más avanzadas, como:

- Simulación Monte Carlo para evaluar la probabilidad de desviación presupuestaria.
- Análisis probabilístico de la duración del proyecto.
- Integración con modelos BIM para mediciones automáticas.
- Desarrollo de indicadores de desempeño (KPI) estructurados.

Estas mejoras permitirían acercar el modelo a un sistema más robusto, propio de entornos profesionales de mayor escala.

9.7 Valor profesional del ejercicio desarrollado

Más allá de sus limitaciones, este trabajo permite comprender la complejidad real de la gestión industrial.

La integración entre:

- la definición técnica del alcance,
- la estimación económica detallada,
- la planificación temporal coherente,
- la gestión de riesgos
- y el control de calidad

ofrece una visión completa del ciclo de vida de un proyecto industrial.

El ejercicio demuestra que el ingeniero industrial no se limita al diseño técnico, sino que actúa como integrador de disciplinas técnicas, económicas y organizativas.

Capítulo 10. CONCLUSIONES

Capítulo 10. CONCLUSIONES

Cerrado el análisis crítico, este capítulo recoge las conclusiones del trabajo agrupadas por ámbito —técnico, económico, organizativo y profesional— y termina con una valoración de conjunto que responde a los objetivos planteados en el capítulo 1.

10.1 Conclusiones técnicas

Este Trabajo Fin de Grado ha permitido construir, capítulo a capítulo, un modelo técnico coherente para la ampliación de una línea de tratamiento térmico en una planta de transformación de maíz, cumpliendo el primer objetivo específico planteado en el apartado 1.2: definir de forma coherente el alcance técnico de la ampliación. Delimitar con claridad el alcance mecánico, las interfaces con las instalaciones existentes y los criterios higiénico-sanitarios aplicables ha permitido construir sobre bases sólidas el resto del trabajo.

La selección de materiales, la ejecución de soldaduras sanitarias, la disposición de válvulas y la integración de los equipos térmicos se han tratado como decisiones interdependientes, no aisladas: cada una condiciona tanto la viabilidad técnica como la económica del proyecto, tal como se justifica en los capítulos 2 y 3.

La decisión de maximizar la prefabricación en taller allí donde es técnicamente viable —en torno a un tercio de las horas totales, según el Anexo III, concentradas en tuberías y soportes— justificada en el apartado 4.8, ha resultado ser el eje técnico del trabajo: reduce las interferencias con la planta en funcionamiento, mejora el control de calidad y explica buena parte de la coherencia del modelo económico y de la planificación desarrollados en los capítulos siguientes.

10.2 Conclusiones económicas

El segundo objetivo específico del trabajo —desarrollar un modelo de estimación económica basado en mediciones y rendimientos— se ha cumplido mediante un enfoque bottom-up que vincula cada partida física con un coste y una duración concretos, en lugar de recurrir a ratios genéricos por unidad de capacidad instalada.

Capítulo 10. CONCLUSIONES

El análisis estructurado de costes confirma que los suministros —tuberías, válvulas y equipos certificados en acero inoxidable— concentran la mayor parte del presupuesto, muy por delante de la mano de obra directa, lo que sitúa la gestión de compras como una palanca económica al menos tan relevante como la productividad en taller y en planta.

Incorporar una provisión por imprevistos y un margen industrial se justifica como mecanismo de gestión del riesgo y como garantía de sostenibilidad económica para el contratista, no como un simple recargo sobre el coste base.

El trabajo evidencia, además, que pequeñas variaciones en los rendimientos o en los precios de materiales pueden tener un impacto significativo en el resultado final, lo que confirma la necesidad de la planificación rigurosa y del control continuo que se desarrollan en los capítulos 6 y 7.

10.3 Conclusiones organizativas y de gestión

El tercer y el cuarto objetivo específicos —elaborar una planificación coherente con las horas estimadas e integrar un análisis de riesgos— se reflejan en que la planificación no se ha tratado como un ejercicio independiente, sino como el punto de encuentro entre el alcance técnico, el modelo de costes y la gestión de riesgos.

La coherencia entre las horas estimadas, la duración total y el número de recursos simultáneos constituye una validación indirecta del modelo económico, y la integración del análisis de riesgos dentro de la planificación permite anticipar desviaciones en lugar de limitarse a reaccionar ante ellas.

La gestión de calidad y la prevención de riesgos laborales, quinto objetivo específico del trabajo, se confirman como un elemento clave no solo desde el punto de vista normativo, sino también económico, al reducir los retrabajos y minimizar las interrupciones.

10.4 Conclusiones profesionales y formativas

Desde una perspectiva formativa, desarrollar este trabajo ha permitido integrar los conocimientos técnicos adquiridos durante el grado con herramientas de gestión económica y organizativa, cumpliendo así el propósito general enunciado en la introducción.

Capítulo 10. CONCLUSIONES

El ejercicio ha puesto de manifiesto la necesidad de adoptar una visión global en los proyectos industriales, donde las decisiones técnicas, económicas y organizativas están estrechamente interrelacionadas.

También ha servido para entender la importancia del pensamiento crítico a la hora de evaluar un modelo propio e identificar sus limitaciones, en lugar de darlo por válido sin más, como se recoge en el capítulo 9.

Este trabajo no debe entenderse solo como un ejercicio académico de estimación, sino como la simulación estructurada de un proceso real de toma de decisiones en ingeniería industrial. La integración entre alcance técnico, estimación económica y planificación temporal demuestra que el éxito de un proyecto no depende únicamente de la precisión de los cálculos, sino de la coherencia global del sistema de decisiones adoptado.

10.5 Perspectivas futuras

Más allá de las mejoras metodológicas señaladas en el capítulo anterior, este trabajo abre varias líneas de continuidad. La más inmediata sería contrastar el modelo con datos reales de un proyecto ejecutado, ajustando rendimientos y costes a partir de la experiencia de obra. También sería interesante extender la metodología a otras líneas de proceso de la misma planta, o incluso a otros sectores alimentarios con exigencias higiénicas similares, para comprobar hasta qué punto los rendimientos y las proporciones de coste obtenidos aquí son generalizables. Por último, digitalizar el seguimiento de obra con indicadores de avance en tiempo real permitiría validar en la práctica la coherencia entre planificación y modelo económico que este trabajo solo ha podido plantear de forma conceptual.

10.6 Conclusión final

En conjunto, este trabajo confirma que la ingeniería industrial moderna exige una visión integradora, en la que las decisiones técnicas, económicas y organizativas forman parte de un mismo sistema y no pueden evaluarse de forma aislada. El enfoque bottom-up adoptado ha permitido mantener la trazabilidad entre las magnitudes físicas del proyecto —metros de tubería, número de equipos, horas de

Capítulo 11. ANÁLISIS DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS Y OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO

trabajo— y sus consecuencias económicas y temporales, cumpliendo el objetivo general planteado al inicio de la memoria.

Dicho esto, el propio trabajo reconoce sus límites: el modelo asume un alcance estable, rendimientos medios y una coyuntura de precios sin sobresaltos, condiciones que rara vez se cumplen del todo en un proyecto real. Su valor no está en predecir con exactitud el coste final de una ampliación de este tipo, sino en mostrar cómo debe construirse el razonamiento técnico-económico que sustenta esa predicción. Ese razonamiento —y no una cifra concreta— es la principal aportación de este Trabajo Fin de Grado.

Capítulo 11. ANÁLISIS DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS Y OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO

El modelo desarrollado en los capítulos anteriores representa una solución entre varias posibles. Este capítulo explora tres configuraciones alternativas del proyecto y las compara con el modelo base para valorar si existen mejores equilibrios entre coste, plazo y riesgo.

11.1 Introducción al análisis de escenarios

En proyectos industriales reales, la solución finalmente ejecutada rara vez es la única técnicamente viable. Existen múltiples configuraciones posibles que pueden variar en coste, plazo, riesgo o complejidad técnica.

El modelo desarrollado en este trabajo representa una solución coherente bajo determinados supuestos. Aun así, resulta pertinente analizar escenarios alternativos que permitan valorar posibles mejoras o variaciones estratégicas.

Este análisis no pretende rediseñar el proyecto, sino explorar la sensibilidad del resultado ante decisiones estratégicas distintas.

Capítulo 11. ANÁLISIS DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS Y OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO

11.2 Escenario 1: Mayor ejecución en planta

En este escenario se reduce el porcentaje de prefabricación en taller y se incrementa el trabajo directamente en planta.

Impacto técnico

Mayor flexibilidad ante ajustes dimensionales.

Reducción de transporte de prefabricados.

Mayor dependencia de condiciones reales de planta.

Impacto en rendimientos

El rendimiento en planta es inferior al de taller por las interferencias y las restricciones de espacio, por lo que el número total de horas aumentaría previsiblemente.

Impacto económico

Incremento de horas directas.

Incremento de gastos generales si el plazo se amplía.

Posible aumento de riesgo de retrabajos.

Este escenario resulta menos eficiente desde el punto de vista económico.

En términos de orden de magnitud, si el rendimiento en planta es entre un 15 y un 20% inferior al de taller, desplazar 20 puntos porcentuales de trabajo desde el taller hacia la planta podría traducirse en un incremento de horas totales de un orden similar, con el consiguiente efecto sobre el coste de personal y, potencialmente, sobre el plazo si no se refuerzan los recursos.

11.3 Escenario 2: Reducción del plazo total

En este escenario se plantea acortar la duración del proyecto aumentando el número de recursos simultáneos.

Capítulo 11. ANÁLISIS DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS Y OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO

Impacto organizativo

Mayor concentración de trabajadores en planta.

Mayor necesidad de supervisión.

Incremento del riesgo de interferencias.

Impacto económico

Incremento del coste directo por horas extraordinarias o refuerzo de personal.

Aumento de complejidad organizativa.

Posible reducción de gastos generales si se acorta significativamente el plazo.

Este escenario podría ser viable si el cliente prioriza el plazo frente al coste.

Este escenario ilustra un principio general de la gestión de proyectos: por debajo de cierto umbral, comprimir el plazo no es gratuito, sino que se paga en coste, en riesgo o en ambos a la vez. La decisión de aceptarlo o no depende, en última instancia, de cuánto valora el cliente cada semana de adelanto frente al sobre coste que conlleva.

11.4 Escenario 3: Modularización avanzada

Se plantea un escenario en el que la prefabricación se extiende más allá de simples spools y se desarrollan módulos completos ensamblados en taller.

Ventajas

Reducción drástica de trabajos en planta.

Mejora significativa de calidad.

Disminución del tiempo de intervención en entorno operativo.

Inconvenientes

Mayor complejidad logística.

Capítulo 11. ANÁLISIS DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS Y OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO

Limitaciones de transporte.

Necesidad de espacio amplio en planta para posicionamiento de módulos.

Este escenario podría ser óptimo en proyectos de mayor escala.

Su viabilidad depende, sobre todo, de si el proyecto tiene continuidad: la inversión inicial en preparar módulos completos en taller —utillaje, espacio, planificación de secuencia de montaje— solo se amortiza bien si se repite en varias ampliaciones similares, no en una intervención puntual como la analizada en este trabajo.

11.5 Optimización del modelo económico

A partir del análisis de escenarios se identifican posibles líneas de optimización:

- Mejora en la planificación temprana para reducir solapes.
- Negociación anticipada con proveedores para estabilizar precios.
- Implementación de herramientas digitales para el control de avance.
- Desarrollo de indicadores de productividad en tiempo real.

La optimización no implica necesariamente reducir el coste, sino mejorar el equilibrio entre coste, plazo y riesgo.

- Desarrollo de modelos probabilísticos de coste y plazo.
- Integración de indicadores de sostenibilidad ambiental.
- Digitalización del seguimiento en tiempo real mediante herramientas de control de producción.

Estas mejoras permitirían llevar el modelo hacia aplicaciones profesionales de mayor escala y complejidad.

11.6 Evaluación comparativa de escenarios

Los tres escenarios analizados y el modelo base desarrollado en este trabajo pueden compararse atendiendo a tres criterios: coste, plazo y riesgo.

Capítulo 12. Resumen de Datos Clave

En términos de coste, el modelo base y el Escenario 3 (modularización avanzada) son los más favorables, ya que concentran el valor añadido en el entorno controlado del taller. El Escenario 1 (mayor ejecución en planta) es el menos eficiente económicamente, al trasladar horas de un entorno de alto rendimiento a otro de rendimiento inferior. El Escenario 2 (reducción del plazo) también incrementa el coste, aunque por una vía distinta: el refuerzo de personal y las posibles horas extraordinarias.

En cuanto al plazo, el Escenario 2 es, por definición, el que ofrece mayor margen de maniobra para acortar la duración total, aunque a costa de una organización más compleja. El Escenario 3 podría reducir el tiempo de intervención en planta, pero exige una preparación previa más larga en taller, por lo que su efecto sobre el plazo global depende de cómo se planifique esa fase inicial. El Escenario 1 no aporta ventajas de plazo relevantes.

Desde el punto de vista del riesgo, el modelo base y el Escenario 3 resultan más robustos, porque dependen en menor medida de las condiciones variables de la planta. El Escenario 1 aumenta la exposición a interferencias e imprevistos de campo, mientras que el Escenario 2 incrementa el riesgo organizativo al concentrar más recursos en el mismo espacio y en el mismo periodo.

En conjunto, el modelo base adoptado en este trabajo —con en torno a un tercio de las horas ejecutadas en taller, según el Anexo III— resulta el más equilibrado entre los tres criterios. El Escenario 3 sería la evolución lógica si el proyecto creciera en escala o se repitiera en otras plantas, mientras que el Escenario 2 solo se justificaría si el cliente diera prioridad absoluta al plazo sobre el coste. El Escenario 1, en cambio, no aporta ventajas claras frente al modelo base y se plantea aquí únicamente como referencia para dimensionar el efecto de reducir la prefabricación.

Capítulo 12. Resumen de Datos Clave

A modo de síntesis, se recogen en formato tabla los principales resultados cuantitativos desarrollados en los capítulos 4, 5 y 6, coherentes con los Anexos III y V.

Capítulo 13. Bibliografía

Tabla 1: Desglose del presupuesto del proyecto.

Concepto	Importe (€)
Coste base (personal + gastos generales + suministros)	5.039.755
Subcontratas	885.900
Coste base completo	5.925.655
Imprevistos (8%) + margen industrial (12%)	1.185.131
TOTAL OFERTA / PROYECTO	7.110.786

Tabla 2: Pico de personal simultáneo (meses 0-2 de ejecución).

Personal	Nº de personas
Directas	19
Indirectas	6
TOTAL pico simultáneo	25

Tabla 3: Distribución de horas de trabajo taller / planta.

Ubicación	Horas	% del total
Taller	2.930	32,5%
Planta	6.096	67,5%
TOTAL	9.027	100%

Capítulo 13. Bibliografía

[1] American Society of Mechanical Engineers. (2020). ASME B31.3: Process piping. ASME.

Capítulo 13. Bibliografía

- [2] European Commission. (2004). Regulation (EC) No 1935/2004 on materials and articles intended to come into contact with food. Official Journal of the European Union.
- [3] European Committee for Standardization. (2014). DIN EN 10357: Stainless steel tubes for the food and chemical industry. CEN.
- [4] European Hygienic Engineering & Design Group. (2018). Guidelines on hygienic design of equipment for the food industry. EHEDG.
- [5] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2019). Guía técnica para la evaluación y prevención de riesgos relativos a la utilización de los equipos de trabajo. Ministerio de Trabajo y Economía Social.
- [6] International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015: Quality management systems — Requirements. ISO.
- [7] International Organization for Standardization. (2018). ISO 22000:2018: Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain. ISO.
- [8] Kerzner, H. (2017). Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling (12th ed.). Wiley.
- [9] Meredith, J. R., & Mantel, S. J. (2012). Project management: A managerial approach. Wiley.
- [10] OHSAS Project Group. (2007). OHSAS 18001: Occupational health and safety management systems — Requirements. BSI.
- [11] Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) (7th ed.). PMI.
- [12] Smith, R. (2016). Chemical process design and integration. Wiley.
- [13] Towler, G., & Sinnott, R. (2013). Chemical engineering design: Principles, practice and economics of plant and process design (2nd ed.). Elsevier.

ANEXOS

A continuación se incluyen íntegramente los siete anexos técnicos que complementan esta memoria, con el detalle metodológico, los datos de partida y los cálculos que sustentan los resultados presentados en los capítulos anteriores.

ANEXO I – Documentación del cliente y alcance inicial

1. Introducción y consideraciones de confidencialidad

El presente anexo tiene como objetivo describir y analizar la documentación inicial proporcionada por el cliente como punto de partida para la elaboración de la oferta técnica y económica objeto de este Trabajo Fin de Grado.

Por motivos de confidencialidad, la documentación real del proyecto (incluyendo planos, especificaciones técnicas y cartas contractuales) no se adjunta de forma literal en este documento. Toda la información presentada ha sido convenientemente anonimizada, omitiendo referencias explícitas al cliente, a la instalación industrial y a cualquier dato sensible de carácter técnico, económico o contractual.

El enfoque de este anexo no es reproducir la documentación original, sino explicar su tipología, estructura y función dentro del proceso de gestión técnico-económica, tal y como se realiza habitualmente en el departamento de estudios y presupuestos de la empresa.

2. Tipología de documentación recibida del cliente

Como punto de partida del proyecto, el cliente proporciona un conjunto de documentos que permiten definir de forma preliminar el alcance de los trabajos y realizar el análisis técnico-económico necesario para la elaboración de la oferta. De manera general, la documentación recibida se compone de los siguientes elementos:

Carta de alcance del proyecto.

ANEXO I – Documentación del cliente y alcance inicial

Documentación gráfica (planos generales y de detalle).

Especificaciones técnicas.

Preciario asociado al proyecto.

Documentación complementaria (si aplica).

Cada uno de estos documentos cumple una función específica dentro del proceso de estudio, y su correcta interpretación resulta fundamental para la definición del alcance y la estimación de costes.

3. Carta de alcance: estructura y contenido

La carta de alcance constituye el documento contractual de referencia para la delimitación de responsabilidades entre el cliente y la empresa ofertante. En ella se definen, de forma preliminar, los trabajos incluidos en el proyecto y las condiciones generales bajo las cuales deben ejecutarse.

De manera habitual, la carta de alcance incluye los siguientes aspectos:

Descripción general del proyecto y de los trabajos a realizar.

Límites del suministro y del montaje.

Responsabilidades del contratista y del cliente.

Alcance de las pruebas, verificaciones y puesta en marcha.

Condiciones generales de ejecución.

Seguros

En el proyecto objeto de estudio, la carta de alcance establece que (descripción general del alcance definido por el cliente), si bien presenta determinados puntos que requieren interpretación técnica y posterior ajuste, especialmente en lo relativo a (hipótesis relevantes, exclusiones o aspectos ambiguos).

El análisis detallado de la carta de alcance permite identificar posibles riesgos, incoherencias o indefiniciones que deben ser tenidas en cuenta durante la

ANEXO I – Documentación del cliente y alcance inicial

elaboración de la oferta, y que se desarrollan con mayor profundidad en el Anexo II.

4. Documentación gráfica: planos y esquemas

La documentación gráfica proporcionada por el cliente incluye distintos tipos de planos que permiten comprender la configuración general de la instalación y los trabajos a realizar. Aunque no se adjuntan los planos reales por motivos de confidencialidad, a continuación se describe su tipología y utilidad dentro del proceso de estudio.

De forma general, los planos recibidos pueden clasificarse en:

Planos generales de implantación, que muestran la disposición global de la instalación y la ubicación de los principales equipos.

Planos de trazado principal, en los que se representan los recorridos de los elementos mecánicos objeto del proyecto.

Planos de detalle, que aportan información específica sobre determinados elementos constructivos o equipos singulares.

Planos 3D donde se perciben tuberías, soportes y demás elementos mecánicos

A partir del análisis de esta documentación gráfica se extrae información relevante para la estimación económica, como la complejidad de los trabajos, los condicionantes geométricos, la necesidad de medios auxiliares y la posible existencia de zonas críticas desde el punto de vista de ejecución.

5. Especificaciones técnicas aplicables

Las especificaciones técnicas proporcionadas por el cliente establecen los requisitos de calidad, materiales y procedimientos que deben cumplirse durante la ejecución del proyecto. Estas especificaciones actúan como documento de referencia para garantizar que los trabajos ofertados cumplen con los estándares exigidos.

En el caso del proyecto analizado, las especificaciones técnicas hacen referencia, entre otros aspectos, a:

ANEXO I – Documentación del cliente y alcance inicial

Materiales y calidades exigidas.

Normativa aplicable.

Requisitos de montaje y tolerancias.

Criterios de inspección y aceptación.

El análisis de estas especificaciones permite anticipar posibles sobrecostos derivados de exigencias técnicas particulares y ajustar la estimación económica de acuerdo con los criterios de la empresa.

6. Alcance inicial del proyecto definido por el cliente

A partir del conjunto de documentación recibida, el cliente define un alcance inicial que sirve como base para la elaboración de la oferta. Dicho alcance incluye, de forma general, los siguientes trabajos:

(Descripción genérica de los trabajos incluidos).

(Descripción de suministros principales).

(Descripción de servicios asociados, como pruebas o supervisión).

No obstante, este alcance inicial no se considera definitivo, ya que debe ser analizado y ajustado por la empresa para garantizar su coherencia técnica y económica. Este proceso de ajuste del alcance se aborda en detalle en el Anexo II.

7. Elementos incluidos y excluidos: visión general

Como resultado del análisis preliminar de la documentación del cliente, se puede establecer una primera visión general de los elementos incluidos y excluidos en el alcance del proyecto. A modo ilustrativo, la Tabla 1 resume algunos de los aspectos más relevantes.

ANEXO I – Documentación del cliente y alcance inicial

Tabla 1. Visión general de
alcance inicial del proyecto

Elemento

Incluido en alcance

Comentarios

Suministro de equipos principales

(Sí/No)

(Comentarios generales)

Montaje mecánico

(Sí/No)

(Condiciones o limitaciones)

Pruebas y verificaciones

(Sí/No/Parcial)

(Alcance definido)

Puesta en marcha

(Sí/No/Parcial)

(Hipótesis aplicables)

Obra civil

ANEXO II – Análisis y ajuste del alcance del proyecto

(Sí/No)

(Habitualmente excluida)

Esta primera delimitación del alcance resulta fundamental para la posterior estimación de horas, planificación de recursos y valoración económica del proyecto.

8. Conclusión del anexo

El análisis de la documentación inicial proporcionada por el cliente constituye el punto de partida del proceso de gestión técnico-económica del proyecto. Una correcta interpretación de la carta de alcance, los planos y las especificaciones técnicas permite definir de manera preliminar los trabajos a realizar y detectar aquellos aspectos que requieren aclaración o ajuste.

Este anexo establece, por tanto, la base documental sobre la cual se desarrollan los análisis posteriores de alcance, planificación y estimación económica, que se recogen en los anexos siguientes del presente Trabajo Fin de Grado.

ANEXO II – Análisis y ajuste del alcance del proyecto

1. Introducción

El presente anexo tiene como objetivo describir el proceso de análisis, interpretación y ajuste del alcance del proyecto a partir de la documentación inicial proporcionada por el cliente, descrita en el Anexo I. Este proceso constituye una fase crítica dentro de la gestión técnico-económica del proyecto, ya que permite delimitar de forma precisa las responsabilidades de la empresa, minimizar riesgos y establecer una base coherente para la posterior estimación económica y planificación de los trabajos.

El análisis del alcance no se limita a una lectura literal de la documentación contractual, sino que requiere una interpretación técnica apoyada en la experiencia del departamento de estudios y presupuestos, contrastando la carta de alcance con los planos, especificaciones técnicas y el resto de la documentación disponible.

ANEXO II – Análisis y ajuste del alcance del proyecto

Por motivos de confidencialidad, los ejemplos y descripciones incluidos en este anexo se presentan de forma genérica y anonimizada, sin hacer referencia explícita a datos técnicos, económicos o contractuales sensibles del cliente o del proyecto real.

2. Interpretación técnica de la carta de alcance

La carta de alcance constituye el documento de referencia principal para la delimitación de responsabilidades entre el cliente y la empresa ofertante. En ella se definen, de manera preliminar, los trabajos incluidos en el proyecto, así como los límites del suministro, del montaje y de los servicios asociados.

Durante el análisis del proyecto objeto de este Trabajo Fin de Grado, la carta de alcance establecía de forma general que la empresa debía encargarse de:

- (Descripción genérica de los trabajos incluidos según la carta de alcance).
- (Límites del suministro definidos por el cliente).
- (Responsabilidades asociadas al montaje y ejecución).
- (Alcance de pruebas, verificaciones o puesta en marcha, si aplica).

No obstante, la redacción de la carta de alcance presentaba determinados aspectos susceptibles de interpretación, especialmente en lo relativo a (aspectos ambiguos, responsabilidades compartidas, servicios no claramente definidos), lo que hacía necesario un análisis técnico detallado antes de proceder a la elaboración de la oferta.

3. Contraste del alcance con la documentación técnica

Una vez analizada la carta de alcance, se procede a contrastar su contenido con el resto de la documentación técnica proporcionada por el cliente, principalmente planos y especificaciones técnicas. Este contraste resulta fundamental para detectar posibles incoherencias o discrepancias entre lo definido contractualmente y lo representado gráficamente.

A partir de este análisis comparativo se identifican, entre otros aspectos:

ANEXO II – Análisis y ajuste del alcance del proyecto

- Elementos representados en planos que no aparecen explícitamente recogidos en la carta de alcance.
- Trabajos mencionados en la carta de alcance que no se reflejan de forma clara en la documentación gráfica.
- Diferencias entre los criterios de ejecución indicados en las especificaciones técnicas y los supuestos implícitos en la carta de alcance.

En el proyecto analizado, este proceso permitió detectar (ejemplos genéricos de discrepancias o indefiniciones), que debían ser aclaradas o acotadas para garantizar una correcta definición del alcance del proyecto.

4. Identificación de exclusiones del alcance

Como resultado del análisis técnico del alcance, se identifican una serie de exclusiones, entendidas como aquellos trabajos, suministros o servicios que no se consideran incluidos dentro de la oferta de la empresa.

De forma genérica, las exclusiones habituales en este tipo de proyectos industriales incluyen:

- (Ejemplo de exclusión de obra civil).
- (Ejemplo de exclusión de suministros específicos).
- (Ejemplo de exclusión de servicios auxiliares o medios proporcionados por el cliente).
- (Ejemplo de exclusión de trabajos no definidos en la documentación inicial).

En el caso del proyecto objeto de estudio, las exclusiones principales se establecieron en relación con (describir de forma genérica las exclusiones más relevantes), quedando reflejadas de forma explícita en la oferta técnica y económica presentada al cliente.

ANEXO II – Análisis y ajuste del alcance del proyecto

5. Definición de hipótesis de partida

Además de las exclusiones, la correcta definición del alcance requiere el establecimiento de una serie de hipótesis de partida, que recogen las condiciones bajo las cuales se ha realizado la estimación técnica y económica del proyecto.

Entre las hipótesis habitualmente definidas en proyectos de este tipo se encuentran:

- (Hipótesis sobre accesibilidad a la instalación).
- (Hipótesis sobre disponibilidad de suministros o servicios por parte del cliente).
- (Hipótesis sobre condiciones de trabajo y coordinación con otros contratistas).
- (Hipótesis sobre plazos y secuencia de ejecución).

En el proyecto analizado, se establecieron hipótesis relacionadas con (describir de forma genérica las principales hipótesis), las cuales fueron tenidas en cuenta tanto en la estimación económica como en la planificación de los trabajos.

6. Aclaraciones técnicas del alcance

Las aclaraciones técnicas se utilizan para matizar o precisar determinados aspectos del alcance que, aun estando incluidos, no se encuentran suficientemente definidos en la documentación inicial.

Entre las aclaraciones técnicas habituales se incluyen:

- Alcance exacto de determinadas partidas o trabajos singulares.
- Criterios de ejecución o montaje asumidos en la oferta.
- Límites de responsabilidad en trabajos compartidos con otros contratistas.
- Alcance de pruebas, verificaciones o controles de calidad.

En el proyecto objeto de este Trabajo Fin de Grado, las aclaraciones técnicas se centraron principalmente en (describir de forma genérica los aspectos aclarados), contribuyendo a una definición de alcance más precisa y coherente.

ANEXO III – Cálculo de horas, rendimientos y estimación de recursos

7. Conclusión del anexo

El análisis y ajuste del alcance del proyecto constituye una fase fundamental dentro del proceso de gestión técnico-económica de una obra industrial.

Una correcta interpretación de la carta de alcance, contrastada con la documentación técnica, permite identificar exclusiones, establecer hipótesis realistas y definir aclaraciones técnicas que reducen significativamente los riesgos asociados al proyecto.

El alcance ajustado obtenido en este anexo sirve como base para el desarrollo del estudio económico, la estimación de recursos y la planificación temporal, que se abordan en los anexos posteriores del presente Trabajo Fin de Grado.

ANEXO III – Cálculo de horas, rendimientos y estimación de recursos

1. Introducción

El presente anexo tiene como objetivo describir la metodología empleada para el cálculo de horas de trabajo, la estimación de rendimientos y la determinación de los recursos humanos y económicos necesarios para la ejecución del proyecto objeto de este Trabajo Fin de Grado.

Los cálculos presentados se basan en un modelo ficticio pero realista, construido a partir de criterios habituales en departamentos de estudios y presupuestos de proyectos industriales. Por motivos de confidencialidad, no se incluyen datos reales de cliente ni valores internos específicos, utilizándose en su lugar magnitudes representativas y coherentes con la práctica profesional.

2. Hipótesis generales de partida

Para la elaboración del modelo de cálculo se han adoptado las siguientes hipótesis generales:

- Duración estimada del proyecto: 10 meses.

ANEXO III – Cálculo de horas, rendimientos y estimación de recursos

- Número de días laborables: 22 días por mes.
- Jornada diaria de trabajo en taller: 10 horas.
- Jornada diaria de trabajo en planta: 10 horas.

Estas hipótesis permiten establecer una base homogénea para la estimación de recursos, así como evaluar la viabilidad temporal del proyecto en términos de carga de trabajo y dimensionamiento de equipos.

3. Rendimientos de trabajo

Los rendimientos de trabajo empleados en el modelo se han definido a partir de tablas internas de referencia, utilizadas habitualmente en proyectos de obra nueva.

En el caso de las tuberías, los rendimientos de montaje se han extraído de tablas de horas por metro lineal (H/ML), diferenciadas según el rango de diámetros. Con el fin de simplificar el modelo y hacerlo representativo de una fase de oferta, dichos rendimientos se han agregado en bandas de diámetro (pequeño, medio, grande y muy grande).

La prefabricación en taller se ha considerado más eficiente que el montaje en planta, aplicando un factor de reducción de horas sobre los rendimientos de montaje, lo cual refleja una práctica habitual en proyectos industriales.

4. Cálculo de horas de trabajo

A partir de las cantidades definidas en el precario del Anexo IV y de los rendimientos establecidos, se procede al cálculo de las horas totales necesarias para cada tipo de actividad.

Las horas se desglosan en función de su ubicación de ejecución:

- Trabajos realizados en taller (prefabricación).
- Trabajos realizados en planta (montaje).

Este enfoque permite analizar la distribución de la carga de trabajo y comprobar que una parte significativa de las horas se concentran en el taller, lo cual resulta ventajoso desde el punto de vista económico y organizativo.

ANEXO III – Cálculo de horas, rendimientos y estimación de recursos

5. Dimensionamiento del personal

Una vez calculadas las horas totales de trabajo, se procede al dimensionamiento del personal necesario para la ejecución del proyecto.

El personal se clasifica en dos grandes grupos:

- Personal directo: soldadores, tuberos, montadores y otros perfiles directamente implicados en la ejecución.
- Personal indirecto: encargados, jefes de obra, técnicos de prevención, personal de calidad y apoyo logístico.

El número de personas necesarias para cada perfil se obtiene a partir de las horas asignadas y de las horas efectivas disponibles por trabajador a lo largo de la duración del proyecto.

6. Estimación de costes de personal

Para la estimación del coste de personal se parte de salarios brutos anuales representativos de cada perfil profesional, a los que se aplica un factor de corrección que permite aproximar el coste real para la empresa, incluyendo cotizaciones sociales y otros costes asociados.

Este criterio es habitual en estudios económicos preliminares y permite obtener una estimación realista del impacto del coste de la mano de obra en el conjunto del proyecto.

7. Gastos, suministros y subcontrataciones

Además del coste de personal, el modelo contempla otros bloques de coste relevantes para el proyecto:

- Gastos generales y medios auxiliares.
- Suministros de materiales y equipos.
- Trabajos subcontratados, tales como pintura industrial, aislamiento térmico o ensayos no destructivos.

ANEXO III – Cálculo de horas, rendimientos y estimación de recursos

Estos conceptos se han estimado de forma agregada, siguiendo criterios habituales en fases de oferta y permitiendo una visión global del coste total del proyecto.

8. Resumen y coherencia del modelo

El modelo desarrollado permite integrar de forma coherente las cantidades del proyecto, los rendimientos de trabajo, la duración prevista y los recursos necesarios, proporcionando una estimación global del coste y de la organización del proyecto.

La coherencia entre el cálculo de horas, el dimensionamiento de personal y la duración del proyecto constituye un aspecto clave del presente anexo, reforzando el enfoque profesional y realista del Trabajo Fin de Grado.

9. Conclusión del anexo

El cálculo de horas y rendimientos desarrollado en este anexo constituye una herramienta fundamental para la gestión técnico-económica del proyecto.

La metodología empleada, basada en tablas de referencia y en hipótesis de partida claramente definidas, permite obtener una estimación consistente y defendible de los recursos necesarios, sirviendo como base para la planificación y valoración económica del proyecto descritas en los anexos posteriores.

Tabla 4: Parámetros generales del modelo de horas (Anexo III).

Parámetro	Valor	Unidad / Nota
Duración estimada del proyecto	10	meses
Jornada diaria (taller y planta)	10	h/día
Horas efectivas por persona (10 meses)	1.870	h/persona
Productividad (factor)	0,85	0-1
% horas en taller (resultado del modelo)	32,5%	calculado

ANEXO III – Cálculo de horas, rendimientos y estimación de recursos

Parámetro	Valor	Unidad / Nota
Factor coste empresa vs. bruto	1,3	aprox.

Tabla 5: Personal de taller: horas asignadas y coste (Anexo III).

Perfil	Tipo	Horas	Nº personas	Coste €/h
Soldador	Directo	1.611,6	6	55
Tubero	Directo	879,0	3	52
Montador	Directo	293,0	2	50
Encargado taller	Indirecto	87,9	1	70
QA/QC	Indirecto	29,3	1	62
Administración/ Logística	Indirecto	29,3	1	48
TOTAL		2.930,1	14	

Tabla 6: Personal de planta: horas asignadas y coste (Anexo III).

Perfil	Tipo	Horas	Nº personas	Coste €/h
Soldador	Directo	2.133,7	6	55
Montador	Directo	2.743,4	5	50
Tubero	Directo	914,5	3	52
Jefe de obra	Indirecto	182,9	1	85
Técnico PRL	Indirecto	61,0	1	60
QA/QC	Indirecto	61,0	1	62
TOTAL		6.096,4	17	

ANEXO IV – Preciario y estructura de partidas de la instalación mecánica

Tabla 7: Resumen de costes por bloque (Anexo III).

Bloque	Coste (€)
Personal taller	158.374
Personal planta	325.061
Gastos generales y medios	1.620.000
Suministros	2.936.320
COSTE BASE (sin subcontratas)	5.039.755
Subcontratas	885.900
COSTE BASE COMPLETO	5.925.655

ANEXO IV – Preciario y estructura de partidas de la instalación mecánica

1. Introducción

El presente anexo tiene como objetivo describir la estructura y criterios de elaboración del preciario empleado como base para la estimación económica de la instalación mecánica objeto de estudio en este Trabajo Fin de Grado.

El preciario presentado se ha desarrollado con carácter ilustrativo y académico, reproduciendo la tipología de partidas, capítulos y unidades de medición habitualmente empleadas en proyectos industriales reales. Por motivos de confidencialidad, no se incluyen precios unitarios ni datos económicos reales del proyecto, limitándose este anexo a la descripción metodológica y estructural del documento.

2. Función del preciario en la gestión técnico-económica

El preciario constituye una herramienta fundamental dentro del proceso de gestión técnico-económica de un proyecto industrial, ya que permite estructurar y valorar de forma homogénea los distintos trabajos que integran la instalación.

ANEXO IV – Preciario y estructura de partidas de la instalación mecánica

A partir del alcance ajustado definido en los anexos anteriores, el preciario sirve como base para la medición de unidades de obra, la estimación de costes y la posterior elaboración del presupuesto del proyecto.

3. Estructura general del preciario

El preciario se organiza en distintos capítulos, agrupando las partidas en función de su naturaleza técnica. Esta estructura facilita tanto el análisis económico como la comprensión global del proyecto.

Los capítulos principales incluidos en el preciario son:

- Tuberías.
- Válvulas.
- Soportes.
- Equipos.
- Accesorios.
- Aislamiento térmico.
- Pintura industrial y marcado.
- Pruebas y trabajos varios.

4. Capítulo de tuberías

El capítulo de tuberías constituye uno de los elementos principales del preciario, tanto por volumen de unidades como por su impacto económico.

Dado el elevado número de combinaciones posibles en función de diámetros, materiales y servicios, las partidas de tubería se agrupan por tipo de material y norma de fabricación, en lugar de desglosarse individualmente por cada diámetro. Este criterio es habitual en fases de oferta y permite simplificar la estimación económica sin perder representatividad técnica.

ANEXO IV – Preciario y estructura de partidas de la instalación mecánica

5. Capítulo de válvulas

El capítulo de válvulas agrupa los distintos elementos de seccionamiento, regulación y protección de la instalación.

Las partidas se estructuran por tipo de válvula y rango de diámetros, incluyendo válvulas de compuerta, mariposa, esfera, antirretorno y seguridad.

6. Capítulo de soportes

Los soportes constituyen un elemento esencial para garantizar la correcta ejecución y durabilidad de la instalación mecánica.

En el preciario se contemplan distintos tipos de soportes en función de la carga y del servicio, incluyendo soportes simples, soportes reforzados, guías de dilatación y bancadas para equipos.

7. Capítulo de equipos

El capítulo de equipos incluye los principales elementos mecánicos de la instalación, tales como bombas, intercambiadores de calor, filtros y depósitos.

Las partidas asociadas a equipos contemplan tanto el suministro como las operaciones necesarias para su correcta instalación, alineación y conexionado.

8. Accesorios, aislamiento y pintura

El preciario incluye capítulos específicos para accesorios de tubería, sistemas de aislamiento térmico y trabajos de pintura industrial.

Estos capítulos permiten reflejar trabajos que, aun no siendo protagonistas desde el punto de vista funcional, tienen un impacto significativo en el coste y en la calidad final de la instalación.

9. Pruebas, documentación y trabajos varios

Se incluyen partidas asociadas a pruebas de presión, ensayos, limpieza de líneas y elaboración de documentación final del proyecto.

ANEXO IV – Preciario y estructura de partidas de la instalación mecánica

Estas partidas resultan fundamentales para garantizar la correcta puesta en servicio de la instalación y el cumplimiento de los requisitos normativos y contractuales.

10. Relación entre el preciario y el alcance del proyecto

La correcta definición del preciario se encuentra directamente vinculada al alcance del proyecto definido y ajustado en los anexos anteriores.

Cada partida incluida responde a trabajos contemplados dentro del alcance asumido, mientras que los elementos excluidos del alcance no se reflejan en el preciario.

11. Conclusión del anexo

El preciario presentado en este anexo reproduce de forma genérica y anonimizada la estructura habitual de un preciario de instalación mecánica en proyectos industriales.

Su utilización permite estructurar de forma ordenada la estimación económica del proyecto, facilitando el análisis de costes y la elaboración del presupuesto.

Tabla 8: Preciario mecánico de ejemplo (extracto, Anexo IV).

Capítulo	Elemento	Descripción	Ud.	Cantidad
1. Tuberías	Tubería acero carbono	Transporte producto	m	950
1. Tuberías	Tubería acero carbono	Servicios auxiliares	m	420
1. Tuberías	Tubería inoxidable AISI 304	Proceso alimentario	m	510
1. Tuberías	Tubería inoxidable AISI 316	Líneas críticas	m	280
1. Tuberías	Tubería PVC-U	Drenajes	m	360
1. Tuberías	Tubería PEAD	Servicios	m	240

ANEXO IV – Preciario y estructura de partidas de la instalación mecánica

Capítulo	Elemento	Descripción	Ud.	Cantidad
		enterrados		
2. Válvulas	Válvula compuerta	Seccionamiento	ud	55
2. Válvulas	Válvula mariposa	Control caudal	ud	68
2. Válvulas	Válvula antirretorno	Retención flujo	ud	32
2. Válvulas	Válvula esfera	Aislamiento rápido	ud	74
2. Válvulas	Válvula seguridad	Protección presión	ud	12
2. Válvulas	Válvula reguladora	Control automático	ud	9
3. Soportes	Soporte metálico simple	Soporte estándar	ud	420
3. Soportes	Soporte metálico reforzado	Altas cargas	ud	165
3. Soportes	Bancada metálica	Soporte equipos	ud	28
3. Soportes	Guía deslizante	Dilataciones	ud	64
3. Soportes	Soporte antivibratorio	Reducción vibraciones	ud	38
4. Equipos	Bomba centrífuga	Impulsión producto	ud	5
4. Equipos	Bomba tornillo	Producto viscoso	ud	2
4. Equipos	Intercambiador placas	Intercambio térmico	ud	3
4. Equipos	Filtro industrial	Protección línea	ud	8
4. Equipos	Depósito atmosférico	Almacenamiento	ud	2
4. Equipos	Depósito presión	Proceso	ud	1
5. Accesorios	Codos	Accesorios tubería	ud	480
5. Accesorios	Tes	Derivaciones	ud	210

ANEXO V – Planificación del proyecto: cronograma e histograma de personal

Capítulo	Elemento	Descripción	Ud.	Cantidad
5. Accesorios	Reducciones	Cambio diámetro	ud	195
5. Accesorios	Bridas	Uniones desmontables	ud	560
5. Accesorios	Juntas	Estanqueidad	ud	560
6. Aislamiento	Aislamiento térmico	Líneas calientes	m	420
6. Aislamiento	Revestimiento aluminio	Protección aislamiento	m	420
7. Pintura	Pintura anticorrosión	Protección acero	m2	1850
7. Pintura	Marcado tuberías	Identificación	m	760
8. Pruebas	Prueba hidráulica	Ensayo estanqueidad	lote	1
8. Pruebas	Limpieza química	Limpieza líneas	lote	1
9. Varios	Documentación as-built	Planos finales	lote	1
9. Varios	Señalización seguridad	PRL	lote	1

ANEXO V – Planificación del proyecto: cronograma e histograma de personal

1. Objetivo del anexo

Este anexo presenta la planificación temporal del proyecto mediante un cronograma de alto nivel y su correspondiente histograma de personal. El objetivo es reflejar de forma coherente la secuencia de actividades, los solapes entre taller y

ANEXO V – Planificación del proyecto: cronograma e histograma de personal planta y el dimensionamiento de recursos directos e indirectos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

2. Criterios e hipótesis de planificación

Con el fin de disponer de una visión suficientemente amplia (habitual en planificación industrial), se ha representado el proyecto en un eje temporal relativo desde el mes -4 hasta el mes 30, tomando como referencia el mes 0 como inicio de los trabajos en planta.

Se ha mantenido la coherencia con los anexos anteriores, considerando que una parte significativa del trabajo se ejecuta en taller (prefabricación), reduciendo la carga en planta y favoreciendo plazos y costes.

3. Cronograma (mes -4 a mes 30)

El cronograma recoge las principales actividades del proyecto y su ventana temporal. Destacan los siguientes bloques:

- Ingeniería y compras tempranas (mes -4 a mes -1).
- Prefabricación en taller de tuberías y soportes (mes -2 a mes 2).
- Montaje en planta (mes 0 a mes 10), con trabajos de acabado (pintura/aislamiento) solapados.
- Pruebas y puesta en marcha (mes 9 a mes 12).
- Cierre técnico y económico (mes 10 a mes 14).
- Revisión operativa puntual (mes 18) y actuaciones de garantía (mes 24).
- Cierre documental final (mes 30).

4. Histograma de personal

El histograma representa, para cada mes del horizonte de planificación, el número estimado de personas necesarias, diferenciando entre personal directo (ejecución) e indirecto (supervisión, PRL, calidad, logística y gestión).

ANEXO V – Planificación del proyecto: cronograma e histograma de personal

En coherencia con el enfoque de prefabricación, el personal directo presenta un primer pico asociado al taller entre los meses -2 y 2, y un segundo pico asociado al montaje en planta entre los meses 0 y 10. El personal indirecto se mantiene más estable, aumentando ligeramente durante el montaje, pruebas y puesta en marcha.

5. Notas de coherencia con el cálculo de horas

El dimensionamiento del histograma se ha planteado para ser consistente con el modelo de cálculo de horas y rendimientos del Anexo III, asumiendo que el trabajo en taller permite una mayor productividad y reduce la exposición a imprevistos en planta. El horizonte ampliado (hasta mes 30) permite reflejar revisiones, garantías y cierre documental, aunque la fase principal de ejecución se concentra en los primeros 10–12 meses desde el inicio en planta.

Tabla 9: Cronograma de actividades (Anexo V).

ID	Actividad	Fase/ Ubicación	Inicio (mes)	Fin (mes)	Duración (meses)
1	Kick-off interno y planificación preliminar	Oficina	-4	-4	1
2	Revisión documentación cliente y aclaraciones	Oficina	-4	-3	2
3	Ingeniería de detalle / isométricos / listas materiales	Oficina	-3	-2	2
4	Gestión de compras y pedidos críticos	Oficina	-3	-1	3
5	Preparación taller	Taller	-2	-2	1

ANEXO V – Planificación del proyecto: cronograma e histograma de personal

ID	Actividad	Fase/ Ubicación	Inicio (mes)	Fin (mes)	Duración (meses)
	(herramental, WPS/PQR, QA/QC)				
6	Prefabricación tuberías (spools) y soportes	Taller	-2	2	5
7	Recepción equipos y pruebas en taller (FAT/inspección)	Taller	-1	1	3
8	Movilización a planta y montaje de soportes	Planta	0	2	3
9	Montaje tuberías, válvulas y equipos	Planta	0	10	11
10	Aislamiento y pintura	Planta/ Subcontrata	2	11	10
11	Pruebas de presión / flushing / limpieza	Planta	9	11	3
12	Puesta en marcha y asistencia a operación	Planta	10	12	3
13	Documentación as-built y cierre técnico	Oficina	10	13	4
14	Cierre económico y	Oficina	12	14	3

ANEXO V – Planificación del proyecto: cronograma e histograma de personal

ID	Actividad	Fase/ Ubicación	Inicio (mes)	Fin (mes)	Duración (meses)
	lecciones aprendidas				
15	Revisión operativa (follow-up) / auditoría puntual	Oficina/Planta	18	18	1
16	Visita de garantía / verificación prestaciones	Planta	24	24	1
17	Cierre final / archivo del proyecto	Oficina	30	30	1

Tabla 10: Histograma de personal mes a mes (Anexo V).

Mes	Personal directo	Personal indirecto	Total
-4	0	2	2
-3	0	2	2
-2	8	4	12
-1	10	4	14
0	19	6	25
1	19	6	25
2	19	6	25
3	12	4	16
4	14	4	18
5	14	4	18
6	14	4	18

ANEXO V – Planificación del proyecto: cronograma e histograma de personal

Mes	Personal directo	Personal indirecto	Total
7	12	4	16
8	11	4	15
9	9	4	13
10	11	6	17
11	3	2	5
12	3	4	7
13	0	2	2
14	0	2	2
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	1	2	3
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	1	1	2
25	0	0	0
26	0	0	0
27	0	0	0
28	0	0	0
29	0	0	0

ANEXO VI – Análisis de riesgos y medidas de mitigación del proyecto

Mes	Personal directo	Personal indirecto	Total
30	0	1	1

ANEXO VI – Análisis de riesgos y medidas de mitigación del proyecto

1. Objetivo del anexo

El presente anexo tiene como finalidad identificar, analizar y evaluar los principales riesgos asociados a la ejecución del proyecto, así como definir las medidas de mitigación previstas para reducir su impacto en plazo, coste, calidad y seguridad.

El análisis de riesgos constituye una herramienta fundamental de gestión de proyectos industriales y permite justificar la inclusión de márgenes y provisiones económicas contempladas en los anexos anteriores.

2. Metodología de análisis de riesgos

El análisis se ha realizado siguiendo una metodología cualitativa, basada en la identificación de riesgos potenciales y su evaluación en función de dos parámetros:

- Probabilidad de ocurrencia (baja, media, alta).
- Impacto sobre el proyecto (bajo, medio, alto).

A partir de la combinación de ambos factores se obtiene un nivel de riesgo que permite priorizar las acciones de mitigación.

3. Identificación de riesgos

Los riesgos identificados se han agrupado en las siguientes categorías:

- Riesgos técnicos.

ANEXO VI – Análisis de riesgos y medidas de mitigación del proyecto

- Riesgos de planificación y plazo.
- Riesgos económicos.
- Riesgos de seguridad y salud.
- Riesgos logísticos y de suministros.

Esta clasificación facilita su análisis sistemático y la definición de medidas específicas para cada tipo.

4. Principales riesgos técnicos

Entre los riesgos técnicos más relevantes del proyecto se identifican:

- Incompatibilidades dimensionales entre equipos y líneas de tubería.
- Retrabajos derivados de modificaciones tardías de ingeniería.
- Incertidumbre en las condiciones reales de montaje en planta.

La mitigación de estos riesgos se apoya en una fase de ingeniería de detalle rigurosa y en la prefabricación en taller, que permite detectar incidencias antes del montaje final.

5. Riesgos de planificación y plazo

Los riesgos de planificación están principalmente asociados a:

- Retrasos en el suministro de equipos críticos.
- Solapes no previstos entre actividades de distintos contratistas.
- Condiciones meteorológicas adversas durante la fase de montaje.

El cronograma desarrollado en el Anexo V contempla holguras temporales y solapes controlados que permiten absorber desviaciones moderadas sin comprometer la fecha final del proyecto.

ANEXO VI – Análisis de riesgos y medidas de mitigación del proyecto

6. Riesgos económicos

Desde el punto de vista económico, los principales riesgos considerados son:

- Incremento de precios de materias primas.
- Desviaciones de rendimiento respecto a las estimaciones iniciales.
- Incremento de costes asociados a subcontratas especializadas.

La inclusión de una provisión por imprevistos y un margen industrial en el Anexo III permite cubrir este tipo de desviaciones y asegurar la viabilidad económica del proyecto.

7. Riesgos de seguridad y salud

Los riesgos en materia de seguridad y salud están vinculados principalmente a trabajos en altura, maniobras con equipos de elevación y operaciones de soldadura.

Para su mitigación se prevé la aplicación estricta de la normativa vigente en materia de prevención de riesgos laborales, así como la presencia de personal técnico especializado en seguridad durante las fases críticas del proyecto.

8. Riesgos residuales y seguimiento

A pesar de la aplicación de las medidas de mitigación descritas, pueden subsistir riesgos residuales. Estos serán objeto de seguimiento continuo durante la ejecución del proyecto mediante reuniones de coordinación y revisión periódica del avance.

9. Conclusión del anexo

El análisis de riesgos desarrollado en este anexo refuerza la coherencia técnica y económica del proyecto. La identificación temprana de riesgos y la definición de medidas de mitigación contribuyen a una ejecución más segura, eficiente y controlada del proyecto.

ANEXO VII – Plan de calidad y prevención de riesgos laborales

ANEXO VII – Plan de calidad y prevención de riesgos laborales

1. Introducción

El presente anexo describe los criterios generales de calidad y prevención de riesgos laborales aplicables al proyecto, en coherencia con las prácticas habituales en proyectos industriales.

2. Plan de calidad

El plan de calidad tiene como objetivo garantizar que los trabajos ejecutados cumplen con los requisitos técnicos, normativos y contractuales establecidos.

Las principales actividades de control de calidad incluyen:

- Verificación de materiales y certificados.
- Inspección de soldaduras y uniones.
- Control dimensional durante la prefabricación.
- Revisión de documentación final as-built.

3. Control de soldadura y ensayos

Los trabajos de soldadura se ejecutarán conforme a procedimientos cualificados (WPS/PQR) y serán objeto de inspección visual y, cuando proceda, de ensayos no destructivos.

La extensión de los ensayos se definirá en función de la criticidad de las líneas y equipos.

4. Prevención de riesgos laborales

La prevención de riesgos laborales se basa en la identificación de peligros y la aplicación de medidas preventivas adecuadas a cada tipo de trabajo.

Se prestará especial atención a:

- Trabajos en altura.

ANEXO VII – Plan de calidad y prevención de riesgos laborales

- Maniobras con grúas y equipos de elevación.
- Operaciones de soldadura y corte.

5. Organización preventiva

La organización preventiva del proyecto incluye la designación de responsables de seguridad, la coordinación de actividades empresariales y la realización de formaciones específicas para los trabajadores involucrados.

6. Conclusión del anexo

La aplicación de un plan de calidad y prevención de riesgos adecuado contribuye a reducir incidencias, mejorar la seguridad de los trabajadores y asegurar el cumplimiento de los objetivos técnicos del proyecto.