



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

BANCO DE ENSAYOS PARA CISTERNAS DE
PURINES SEGÚN NORMA

Autor: Juan Pedro Domecq Cotoner

Director: José María Menéndez Sánchez

Madrid

Declaración de originalidad

Declaro bajo mi responsabilidad que el Proyecto presentado con el título **Banco de ensayos para cisternas de purines según norma** en la ETS de Ingeniería – ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico **2025-2026** es de mi autoría y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente, y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Uso de Inteligencia Artificial¹

Declaro bajo mi responsabilidad que:

- No he utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del presente documento.
- He utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del presente documento y/o del Anexo B siempre en las condiciones permitidas por la Universidad Pontificia Comillas, es decir, aplicando el Nivel 2 de la [Escala de Evaluación de Perkins et al. \(2024\)](#): *“La IA puede utilizarse para actividades previas a la tarea, como la lluvia de ideas, la descripción y la investigación inicial. Este nivel se centra en el uso de la IA para la planificación, las síntesis y la generación de ideas, pero las evaluaciones deben hacer hincapié en la capacidad de desarrollar y refinar estas ideas de forma independiente”*. En concreto, la Inteligencia Artificial ha sido empleada para:

En concreto, la Inteligencia Artificial se ha utilizado para la planificación y estructuración inicial del proyecto, la generación de ideas preliminares y la mejora de claridad y redacción del documento.

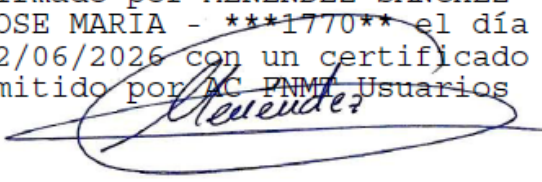


Firmado: Juan Pedro Domecq Cotoner

Fecha: 02 / 06 / 2026

¹ Esta declaración se refiere al uso de la Inteligencia Artificial generativa para realizar los documentos del Proyecto (Anexo B y Memoria). No aplica a Proyectos donde, por su naturaleza, deban emplear inteligencia artificial como parte de los mismos (aplicación de técnicas de aprendizaje automático, redes neuronales, análisis de datos...)

Autorización para la entrega del Proyecto

El Director del Proyecto	El co-Director del Proyecto (si aplica)
<p>Firmado por MENENDEZ SANCHEZ JOSE MARIA - ***1770** el día 02/06/2026 con un certificado emitido por AC FNMI Usuarios</p> 	
Fdo: José María Menéndez Sánchez	Fdo:
Fecha: 02 / 06 / 2026	Fecha:



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

BANCO DE ENSAYOS PARA CISTERNAS DE
PURINES SEGÚN NORMA

Autor: Juan Pedro Domecq Cotoner

Director: José María Menéndez Sánchez

Madrid

Agradecimientos

En primer lugar, quería darle las gracias a mi director, José María, por darme la oportunidad de poder desarrollar un proyecto de ingeniería aplicado a la realidad. Gracias a este trabajo he podido aprender de primera mano lo que supone la ingeniería aplicada y formar parte de un proyecto realista de principio a fin.

Por otro lado, quería dar las gracias a mis padres por haberme dado la oportunidad de cursar este grado. También quiero agradecerles todo el apoyo recibido durante estos años, tanto en los momentos duros y difíciles que he tenido que ir superando como en las alegrías por los logros que se han ido consiguiendo. Sin ellos, nada de esto hubiera sido posible.

BANCO DE ENSAYOS PARA CISTERNAS DE PURINES SEGÚN NORMA

Autor: Domecq Cotoner, Juan Pedro.

Director: Menéndez Sánchez, José María.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente Trabajo de Fin de Grado aborda el diseño completo de un banco de ensayos según norma para la evaluación de la distribución longitudinal y transversal de las cisternas de purines conforme la norma UNE-EN 13406:2003, en el marco normativo de calidad agrícola establecido por el Real Decreto 448/2020 y del encargo de la Estación de Mecánica Agrícola (EMA). El sistema integra un colector de recogida, 60 cubetas de pesaje individual, una grúa móvil con célula de carga, un caudalímetro, un sistema de bombeo y recirculación de 20.000 litros y un software de adquisición de datos y cálculo normativo. La validación funcional se ha realizado mediante un ensayo simulado sobre una cisterna Joskin Modulo2 y ha producido un veredicto global de conformidad. El coste normalizado de implantación resulta en 397,57 €/ensayo para un escenario base de 50 ensayos anuales.

Palabras clave: banco de ensayos, cisternas de purines, UNE-EN 13406:2003, distribución longitudinal, distribución transversal, caudalímetro, sistema de pesaje, adquisición de datos, software de ensayos.

1. Introducción

La aplicación de purines como fertilizante es clave para mejorar la eficiencia agronómica, reducir el impacto ambiental y cumplir con la normativa vigente. Las cisternas esparcidoras de purines son los equipos encargados de realizar esta distribución, cuyo comportamiento depende de variables como el caudal de descarga, la velocidad de avance, el sistema distribuidor y las características del fluido.

La evaluación de la uniformidad de reparto, tanto longitudinal como transversal, resulta compleja en campo, ya que factores como la pendiente, el viento o la variabilidad del terreno dificultan la obtención de resultados repetibles y comparables. Por ello, los bancos de ensayo en condiciones controladas permiten realizar mediciones más fiables y objetivas.

Este proyecto surge de la necesidad de diseñar un banco de ensayos específico para cisternas de purines, conforme a la norma UNE-EN 13406:2003 y al sistema de marcas de calidad agrícola regulado por el Real Decreto 448/2020. La Estación de Mecánica Agrícola (EMA), dependiente del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, requiere una instalación propia que permita ejecutar estos ensayos con validez técnica y normativa.

2. Definición del proyecto

El objetivo general del proyecto es diseñar y definir un banco de ensayos para evaluar la distribución longitudinal y transversal de cisternas esparcidoras de purines en condiciones controladas, obteniendo resultados fiables, reproducibles y conformes con la norma UNE-EN 13406:2003.

El marco técnico y normativo del proyecto se apoya en cuatro referencias principales. La norma UNE-EN 13406:2003 define los métodos de ensayo, los criterios de aceptación y los requisitos de medida. El Real Decreto 448/2020 establece el marco jurídico del sistema de marcas de calidad agrícola. La norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 orienta el diseño hacia la trazabilidad metrológica y la futura acreditación del laboratorio. Por último, el Pliego de Prescripciones Técnicas del Ministerio fija los requisitos mínimos del banco en cuanto a capacidad, rangos de medida y condiciones constructivas.

El proyecto se estructura en cinco objetivos específicos: diseño mecánico del banco, definición del sistema de medición y análisis, especificación de las necesidades de obra civil, evaluación de la viabilidad técnica y económica, y garantía de seguridad y funcionalidad de la instalación.

3. Descripción del sistema

El banco de ensayos se organiza en varios subsistemas integrados, tal y como se muestra en la Figura.

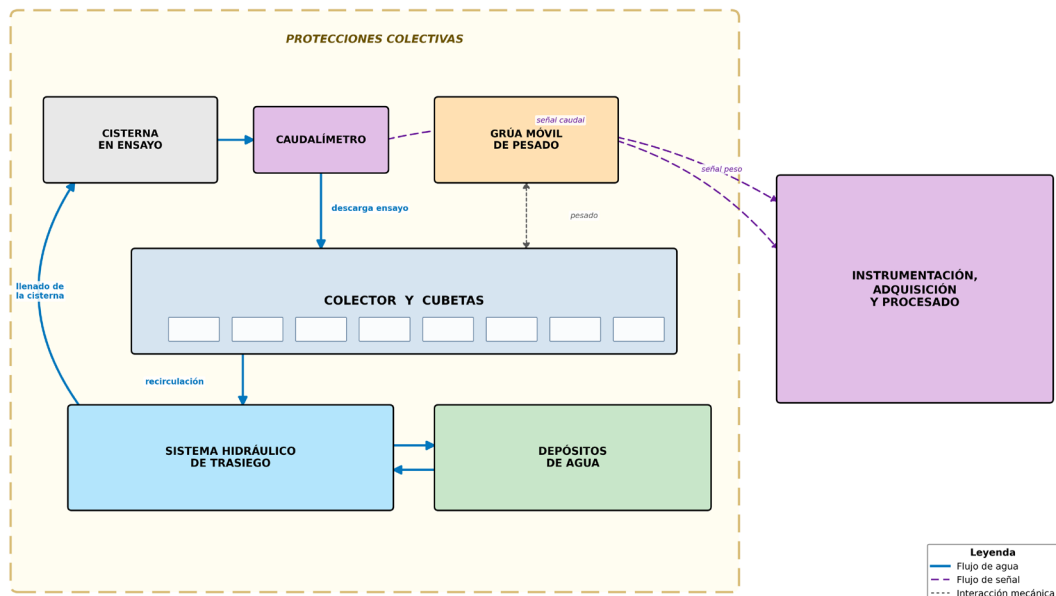


Ilustración 1 - Diagrama de bloques de la arquitectura general del banco de ensayos

El sistema de captación hidráulica está formado por un colector encargado de recoger el fluido durante el ensayo y conducirlo hacia la arqueta de aspiración. Para el ensayo transversal se han definido 60 cubetas de recogida, con sistema de vaciado y cáncamos para su manipulación.

El pesaje de las cubetas se realiza mediante una grúa móvil diseñada específicamente para el banco, equipada con sistema de elevación y célula de carga UTILCELL M610 de 250 kg. Para el ensayo longitudinal se emplea un caudalímetro electromagnético Siemens Sitrans FM, con rango de 0 a 100 l/s y frecuencia de adquisición de 2 Hz, encargado de registrar el caudal instantáneo durante la descarga.

El sistema hidráulico incorpora un depósito de 20.000 litros, bomba centrífuga, filtración, dosificador de cloro y válvula de seis posiciones. Este circuito permite llenar

la cisterna, recircular el fluido desde el colector y trabajar en ciclo cerrado, evitando vertidos al exterior.

Por último, se ha desarrollado un software específico que permite configurar los ensayos, registrar los datos de caudal y masa, calcular los parámetros exigidos por la norma UNE-EN 13406:2003 y generar informes de resultados en PDF y Excel.

4. Resultados

La validación funcional se ha realizado mediante un ensayo simulado, basado en una cisterna Joskin Modulo2 con 12 bocas de salida, 6 metros de anchura de trabajo, densidad del fluido de 1,03 kg/L y volumen de descarga de 2.250 litros.

En el ensayo longitudinal se obtuvo un caudal característico de 72,23 kg/s y un 91,7 % del tiempo de descarga dentro de la zona de tolerancia de $\pm 15\%$, superando el mínimo normativo del 90 %. En el ensayo transversal, la desviación media entre las 12 salidas fue del 7,48 %, por debajo del límite máximo del 15 %. Por tanto, el resultado global fue de conformidad según la norma UNE-EN 13406:2003.

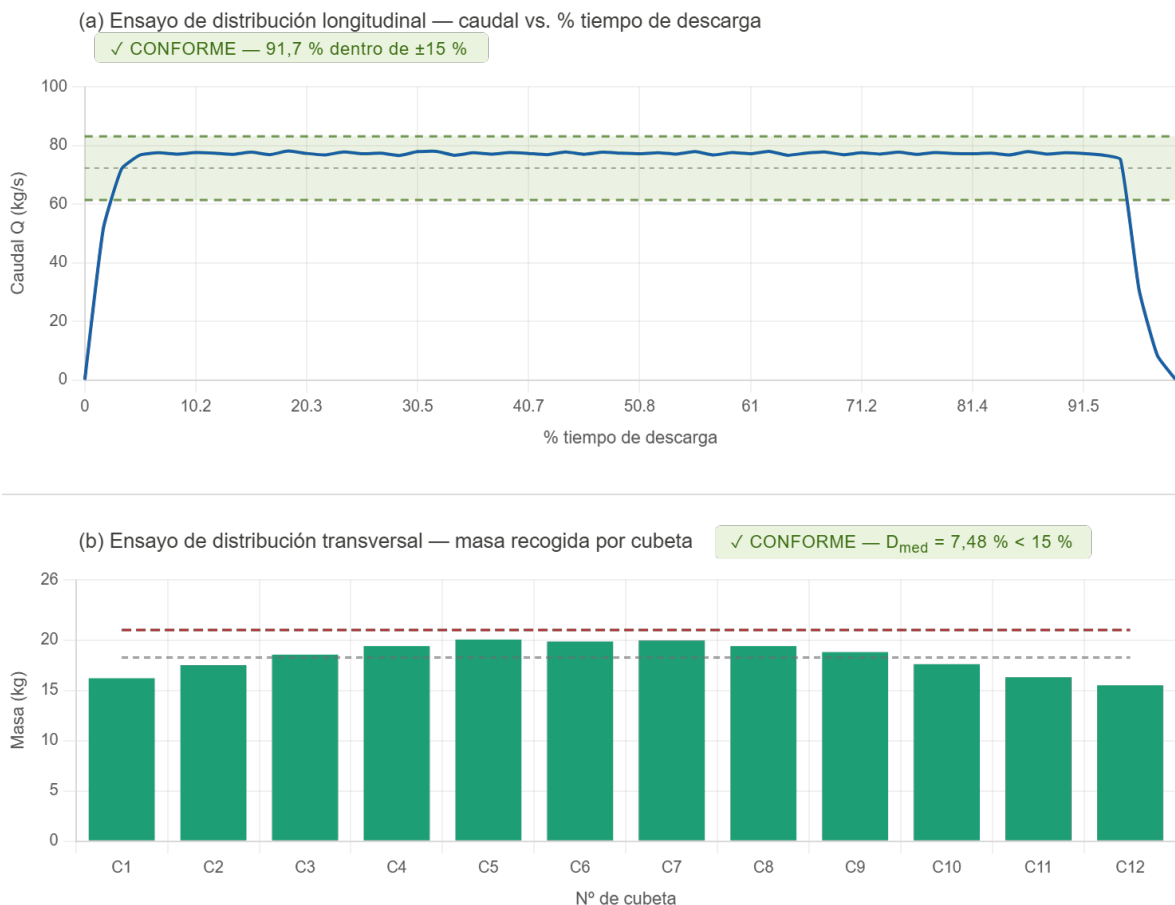


Ilustración 2 - Resultados del ensayo simulado

5. Conclusiones

El proyecto ha permitido diseñar un banco de ensayos para cisternas esparcidoras de purines conforme a la norma UNE-EN 13406:2003, integrando los subsistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos, de medición y software necesarios para su funcionamiento.

El ensayo simulado ha validado el funcionamiento conceptual del sistema, obteniendo un veredicto de conformidad tanto en distribución longitudinal como en distribución transversal. Estos resultados confirman que el diseño cumple los requisitos técnicos planteados, aunque será necesaria una validación final con el banco instalado y una cisterna real.

Como resultado, se obtiene una solución técnica completa para la EMA, acompañada de la documentación necesaria para su futura fabricación, montaje y puesta en marcha. Las principales líneas futuras son la calibración metrológica, la validación con purín real, la automatización del pesaje y la posible ampliación del software a otros ensayos.

6. Referencias

- [1] BOE-A-2020-4666. Real Decreto 448/2020, de 10 de marzo, sobre caracterización y registro de la maquinaria agrícola.
- [2] AENOR. UNE-EN 13406:2003. Maquinaria agrícola. Cisternas esparcidoras de purín y dispositivos de aplicación. Protección medioambiental. Requisitos y métodos de ensayo para la uniformidad de la distribución. Madrid: AENOR, 2003.
- [3] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Pliego de Prescripciones Técnicas para la contratación de un banco de ensayos de distribución longitudinal y transversal para cisternas de purines, 2025.
- [4] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. UNE-EN ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Documento técnico de referencia sobre acreditación y competencia de laboratorios. Madrid, 2022.
- [5] Joskin. (s. f.). JOSKIN - Transporte, esparcimiento y mantenimiento de los pastos. JOSKIN. <https://www.joskin.com/es>

TEST BENCH FOR SLURRY TANKERS ACCORDING TO STANDARD

Author: Domecq Cotoner, Juan Pedro.

Supervisor Menéndez Sánchez, José María.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This Final Degree Project addresses the complete design of a standard-compliant test bench for the evaluation of the longitudinal and transverse distribution of slurry tankers in accordance with the UNE-EN 13406:2003 standard, within the agricultural quality regulatory framework established by Royal Decree 448/2020 and the commission from the Agricultural Mechanics Station (EMA). The system integrates a collection manifold, 60 individual weighing containers, a mobile crane with load cell, a flowmeter, a 20,000-litre pumping and recirculation system, and data acquisition and regulatory calculation software. Functional validation was carried out through a simulated test on a Joskin Modulo2 tanker and produced an overall verdict of conformity. The normalised implementation cost is €397.57/test for a base scenario of 50 tests per year.

Keywords: test bench, slurry tankers, UNE-EN 13406:2003, longitudinal distribution, transverse distribution, flowmeter, weighing system, data acquisition, test software.

1. Introduction

The application of slurry as a fertiliser is key to improving agronomic efficiency, reducing environmental impact and complying with current regulations. Slurry spreading tankers are the equipment responsible for carrying out this distribution, whose behaviour depends on variables such as discharge flow rate, forward speed, distribution system and fluid characteristics.

The evaluation of distribution uniformity, both longitudinal and transverse, is complex in field conditions, since factors such as slope, wind or terrain variability make it difficult to obtain repeatable and comparable results. For this reason, test benches under controlled conditions allow more reliable and objective measurements to be carried out.

This project arises from the need to design a specific test bench for slurry tankers, in accordance with the UNE-EN 13406:2003 standard and the agricultural quality mark system regulated by Royal Decree 448/2020. The Agricultural Mechanics Station (EMA), dependent on the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, requires its own facility to carry out these tests with technical and regulatory validity.

2. Project definition

The general objective of the project is to design and define a test bench to evaluate the longitudinal and transverse distribution of slurry spreading tankers under controlled conditions, obtaining reliable, reproducible results compliant with the UNE-EN 13406:2003 standard.

The technical and regulatory framework of the project is based on four main references. The UNE-EN 13406:2003 standard defines the test methods, acceptance criteria and measurement requirements. Royal Decree 448/2020 establishes the legal framework for the agricultural quality mark system. The UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 standard guides

the design towards metrological traceability and the future accreditation of the laboratory. Finally, the Technical Specifications Document of the Ministry establishes the minimum requirements of the bench in terms of capacity, measurement ranges and construction conditions.

The project is structured around five specific objectives: mechanical design of the bench, definition of the measurement and analysis system, specification of civil works requirements, evaluation of technical and economic feasibility, and assurance of the safety and functionality of the installation.

3. System description

The test bench is organised into several integrated subsystems, as shown in the Figure.

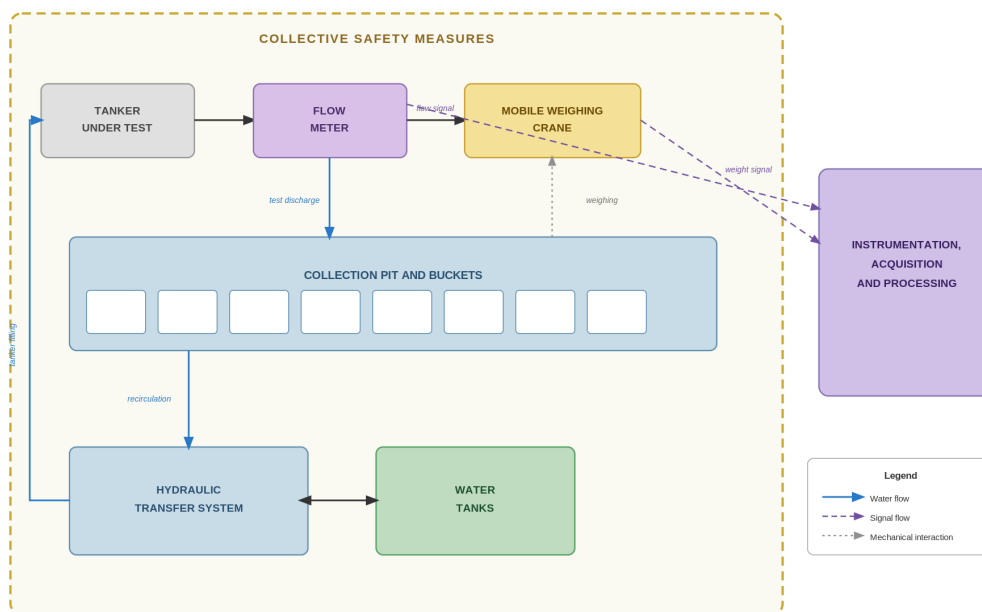


Ilustración 3 - Block diagram of the general architecture of the test bench

The hydraulic collection system consists of a manifold responsible for collecting the fluid during the test and directing it towards the suction sump. For the transverse test, 60 collection containers have been defined, with an emptying system and lifting eyebolts for handling.

The containers are weighed by means of a mobile crane specifically designed for the bench, equipped with a lifting system and a 250 kg UTILCELL M610 load cell. For the longitudinal test, a Siemens Sitrans FM electromagnetic flowmeter is used, with a range from 0 to 100 l/s and an acquisition frequency of 2 Hz, responsible for recording the instantaneous flow rate during discharge.

The hydraulic system incorporates a 20,000-litre tank, centrifugal pump, filtration, chlorine dosing system and six-position valve. This circuit allows the tanker to be filled, the fluid to be recirculated from the manifold and the system to operate in a closed loop, preventing external discharges.

Finally, specific software has been developed to configure the tests, record flow and mass data, calculate the parameters required by the UNE-EN 13406:2003 standard and generate result reports in PDF and Excel.

4. Results

Functional validation was carried out through a simulated test, based on a Joskin Modulo2 tanker with 12 outlets, 6 metres of working width, a fluid density of 1.03 kg/L and a discharge volume of 2,250 litres.

In the longitudinal test, a characteristic flow rate of 72.23 kg/s was obtained, with 91.7% of the discharge time within the $\pm 15\%$ tolerance zone, exceeding the regulatory minimum of 90%. In the transverse test, the average deviation between the 12 outlets was 7.48%, below the maximum limit of 15%. Therefore, the overall result was CONFORMITY according to the UNE-EN 13406:2003 standard.

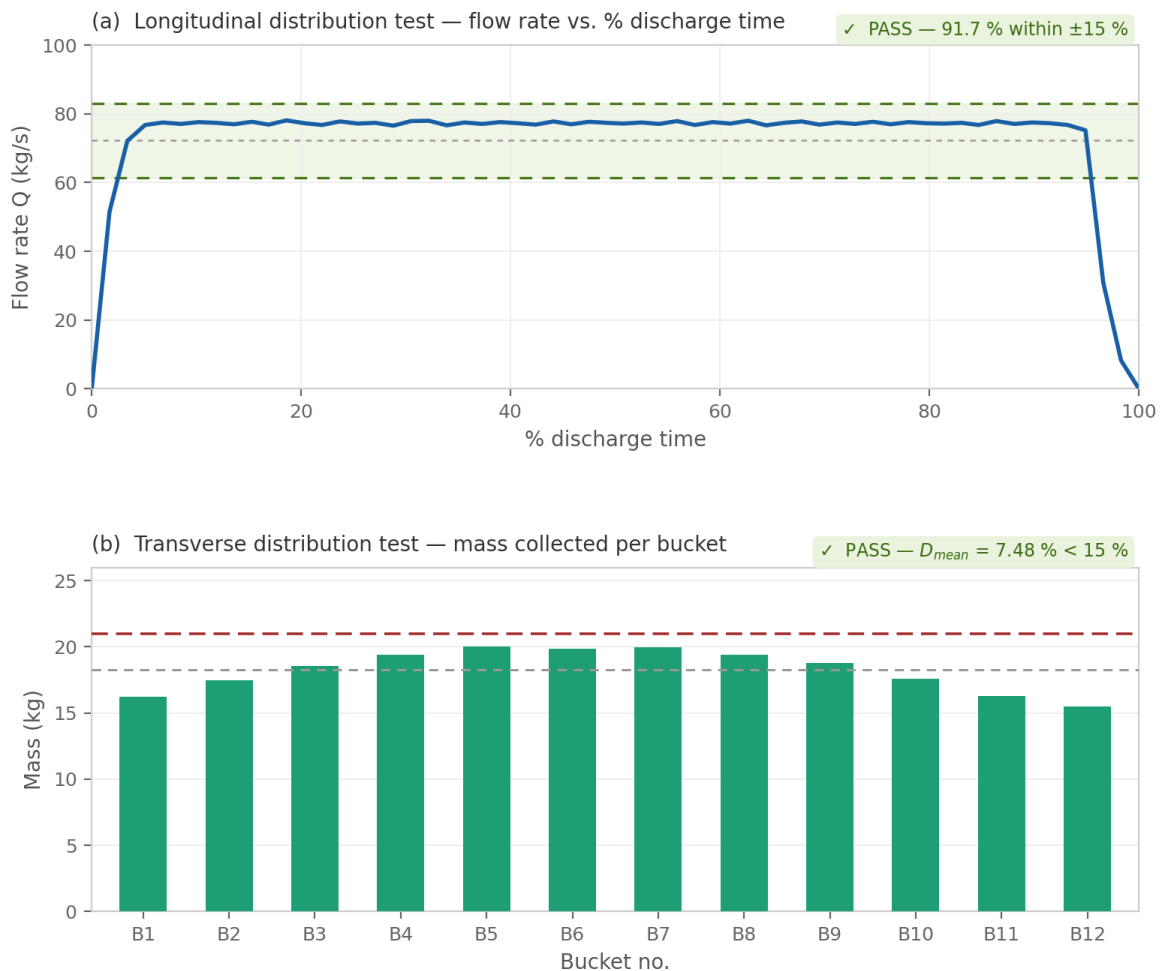


Ilustración 4 – Results of simulated test

5. Conclusions

The project has made it possible to design a test bench for slurry spreading tankers in accordance with the UNE-EN 13406:2003 standard, integrating the mechanical, hydraulic, electrical, measurement and software subsystems required for its operation.

The simulated test has validated the conceptual operation of the system, obtaining a verdict of conformity in both longitudinal and transverse distribution. These results confirm that the design meets the technical requirements proposed, although final validation with the installed bench and a real tanker will be necessary.

As a result, a complete technical solution is obtained for the EMA, accompanied by the necessary documentation for its future manufacture, assembly and commissioning. The main future lines of work are metrological calibration, validation with real slurry, automation of weighing and the possible extension of the software to other tests.

6. References

- [1] BOE-A-2020-4666. Real Decreto 448/2020, de 10 de marzo, sobre caracterización y registro de la maquinaria agrícola.
- [2] AENOR. UNE-EN 13406:2003. Maquinaria agrícola. Cisternas esparcidoras de purín y dispositivos de aplicación. Protección medioambiental. Requisitos y métodos de ensayo para la uniformidad de la distribución. Madrid: AENOR, 2003.
- [3] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Pliego de Prescripciones Técnicas para la contratación de un banco de ensayos de distribución longitudinal y transversal para cisternas de purines, 2025.
- [4] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. UNE-EN ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Documento técnico de referencia sobre acreditación y competencia de laboratorios. Madrid, 2022.
- [5] Joskin. (s. f.). JOSKIN - Transporte, esparcimiento y mantenimiento de los pastos. JOSKIN. <https://www.joskin.com/es>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	9
1.1 Motivación del proyecto.....	10
1.2 Estado de la cuestión.....	10
1.3 Objetivos del proyecto.....	11
1.4 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	12
1.5 Metodología de trabajo.....	13
1.6 Recursos para el desarrollo del proyecto.....	14
Capítulo 2. Marco Normativo y Bases del Ensayo.....	16
2.1 Sistema de marcas de calidad agrícola (RD 448/2020).....	16
2.2 Norma UNE-EN 13406:2003.....	17
2.3 Ensayo de distribución longitudinal.....	19
2.4 Ensayo de distribución transversal.....	20
2.5 Requisitos técnicos del Pliego de Prescripciones Técnicas.....	21
2.6 Norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 — competencia de laboratorios.....	23
Capítulo 3. Estudio de Mercado de Cisternas de Purines.....	26
3.1 Panorama General del Mercado.....	26
3.2 Parámetros Técnicos de las Cisternas de Purines.....	27
3.2.1 Principales fabricantes y marcas.....	27
3.2.2 Tipos de cisterna según configuración estructural.....	29
3.2.3 Capacidades volumétricas.....	30
3.2.4 Sistemas de distribución y aplicación.....	31
3.2.5 Anchura de trabajo.....	33
3.2.6 Número de bocas del distribuidor.....	34
3.2.7 Caudales de operación.....	35
3.2.8 Requisitos normativos y medioambientales.....	35
3.2.9 Comparativa técnica resumida.....	36
3.3 Implicaciones del estudio de mercado para el diseño del banco de ensayos.....	38
3.4 Conclusiones del estudio de mercado.....	39
Capítulo 4. Diseño Mecánico del Banco de Ensayos.....	40

4.1	Objetivos funcionales y requisitos técnicos del banco	40
4.1.1	<i>Objetivos funcionales</i>	40
4.1.2	<i>Requisitos Técnicos globales</i>	41
4.1.3	<i>Arquitectura general del sistema y subsistemas principales</i>	42
4.2	Diseño del colector.....	44
4.2.1	<i>Dimensiones y geometría</i>	44
4.2.2	<i>Impermeabilización y acabado interior</i>	45
4.2.3	<i>Sistema de desagüe y canaleta</i>	46
4.2.4	<i>Tapa del colector</i>	46
4.2.5	<i>Protección de coronación</i>	47
4.3	Diseño de cubetas.....	48
4.3.1	<i>Dimensiones y capacidad</i>	48
4.3.2	<i>Material y proceso de fabricación</i>	49
4.3.3	<i>Sistema de vaciado</i>	49
4.3.4	<i>Elementos de elevación</i>	50
4.4	Estructura mecánica del sistema de pesado.....	51
4.4.1	<i>Grúa móvil y bastidor</i>	51
4.4.2	<i>Mástil y sistema de elevación</i>	52
4.4.3	<i>Guías lineales y desplazamiento</i>	53
4.4.4	<i>Soporte intercambiable de célula de carga</i>	53
4.4.5	<i>Secuencia operativa de pesaje</i>	54
4.5	Sistema de bombeo y trasiego	56
4.5.1	<i>Bomba centrífuga y filtro</i>	56
4.5.2	<i>Válvula de seis posiciones</i>	57
4.5.3	<i>Esquema de principio de la instalación</i>	58
4.5.4	<i>Sistema de depuración y cloración</i>	59
4.6	Depósitos de agua.....	60
4.6.1	<i>Capacidad y configuración</i>	60
4.6.2	<i>Instalación y conexionado</i>	61
4.7	Protecciones colectivas y seguridad	62
4.7.1	<i>Identificación de riesgos principales</i>	62
4.7.2	<i>Postes, cadenas y delimitación del colector</i>	63
4.7.3	<i>Cumplimiento normativo en seguridad</i>	63

4.7.4 Seguridad eléctrica.....	64
4.8 Consideraciones de obra civil.....	64
Capítulo 5. Sistema de Medición, Adquisición de Datos y Validación.....	65
5.1 Selección y especificaciones del caudalímetro.....	65
5.1.1 Caudalímetro electromagnético Siemens Sitrans FM.....	66
5.1.2 Especificaciones metrológicas	67
5.2 Sistema de pesado y células de carga.....	67
5.2.1 Especificaciones metrológicas	68
5.2.2 Calibración y trazabilidad	69
5.3 Sistema de adquisición de datos.....	69
5.3.1 Hardware de adquisición.....	70
5.3.2 Frecuencia de muestreo y resolución.....	70
5.4 Diseño del software de ensayo	70
5.4.1 Estructura general y menú principal.....	71
5.4.2 Módulo de configuración de ensayo.....	72
5.4.3 Módulo de distribución longitudinal.....	73
5.4.4 Módulo de distribución transversal.....	73
5.4.5 Módulo de resultados y exportación a Excel.....	74
5.4.6 Generación automática de informes.....	75
5.5 Ensayo simulado.....	77
5.5.1 Objetivo, configuración y dataset.....	77
5.5.2 Análisis de los resultados del ensayo longitudinal.....	78
5.5.3 Análisis de los resultados del ensayo transversal	80
5.5.4 Resolución global y validación.....	81
Capítulo 6. Documentación Técnica y Desarrollo CAD.....	83
6.1 Introducción y Metodología CAD.....	83
6.2 Modelado 3D.....	84
6.2.1 Modelado de componentes individuales.....	84
6.2.2 Ensamblaje de subconjuntos	86
6.2.3 Conjunto general.....	89
6.3 Planos de Fabricación (Piezas).....	90
6.4 Planos de conjunto y subconjuntos.....	91

6.5	Sistemas Hidráulicos y Eléctricos	95
6.5.1	<i>Esquema hidráulico</i>	95
6.5.2	<i>Esquemas eléctricos</i>	97
Capítulo 7. Análisis Económico.....		101
7.1	Metodología del análisis económico	101
7.2	Inputs del Modelo.....	102
7.2.1	<i>Parámetros Financieros</i>	102
7.2.2	<i>Parámetros Operativos</i>	102
7.3	Presupuesto del proyecto.....	103
7.3.1	<i>Inversión inicial (CAPEX)</i>	103
7.3.2	<i>Costes de operación y mantenimiento (OPEX)</i>	104
7.4	Coste anual equivalente y coste por ensayo	105
7.5	Conclusiones económicas.....	106
Capítulo 8. Planificación del Proyecto		107
Capítulo 9. Conclusiones y Trabajos Futuros.....		109
9.1	Conclusiones técnicas.....	109
9.2	Conclusiones económicas.....	111
9.3	Aportaciones del proyecto.....	112
9.4	Limitaciones identificadas.....	113
9.5	Líneas de mejora y trabajos futuros.....	114
Capítulo 10. Bibliografía.....		116
ANEXO I – Planos de Detalle.....		119
ANEXO II – Planos de Conjunto y Subconjunto.....		137
ANEXO III – Esquemas Hidráulicos		143
ANEXO IV – Esquemas Eléctricos.....		145
ANEXO V – Fichas Técnicas de Equipos		149

Índice de figuras

Figura 1. Principales tipologías de sistemas de distribución de purines: (a) enterrado por reja, (b) enterrado por disco, (c) aplicación por bandas. Fuente: Catálogo del fabricante [6]	32
Figura 2. Diagrama de bloques de la arquitectura general del banco de ensayos	43
Figura 3. Sección transversal del colector	44
Figura 4. Revestimiento interior del colector y losetas antideslizantes tipo “charnaque” ..	45
Figura 5. Planta del foso colector con canaleta de desagüe y arqueta de aspiración.....	46
Figura 6. Detalle de protección metálica tipo guardavivos para el remate superior del colector	47
Figura 7. Modelo 3D de la cubeta de ensayo con dimensiones principales	49
Figura 8. Detalle de los elementos de elevación de la cubeta	50
Figura 9. Desplazamiento longitudinal del bastidor y ajuste transversal del conjunto superior de pesado	52
Figura 10. Detalle del sistema de fijación intercambiable de las células de carga.....	54
Figura 11. Configuración general del banco con la grúa móvil	54
Figura 12. Detalle de los rebajes de la barra de elevación encajados sobre los cáncamos de la cubeta.....	55
Figura 13. Transición entre dos cubetas consecutivas.....	56
Figura 14. Conjunto de bombeo y filtración empleado en el sistema de trasiego.....	57
Figura 15. Válvula de seis posiciones del sistema de bombeo.....	58
Figura 16. Esquema de principio del sistema hidráulico de bombeo y trasiego	59
Figura 17. Dosificador de cloro integrado en el sistema de depuración del banco	60
Figura 18. Depósito de 20.000 L utilizado para el almacenamiento de agua del banco de ensayos	61
Figura 19. Postes de seguridad para delimitación del colector.....	63
Figura 20. Caudalímetro electromagnético Siemens Sitrans FM.....	66
Figura 21. Célula de carga UTILCELL M610	68
Figura 22. Menú principal del software de ensayo.....	71
Figura 23. Pantalla de configuración del ensayo.....	72

Figura 24. Módulo de ejecución del ensayo de distribución longitudinal.....	73
Figura 25. Módulo de ejecución del ensayo de distribución transversal.....	74
Figura 26. Pantalla de resultados consolidados	75
Figura 27. Vista previa del informe generado en formato PDF	76
Figura 28. Curva de descarga simulada.....	78
Figura 29. Distribución transversal de masa por cubeta.....	80
Figura 30. Elementos estructurales principales del banco de ensayos: (a) larguero estructural, (b) elemento piramidal de soporte	84
Figura 31. Elementos auxiliares del banco de ensayos: (a) cartela estructural, (b) soporte del actuador, (c) elemento de protección.....	85
Figura 32. Elementos del sistema de movilidad y elevación: (a) eje vertical, (b) soporte de guiado (rail support), (c) mástil	85
Figura 33. Cubeta de pesaje para la recogida y medición del volumen de fluido	86
Figura 34. Subconjunto inferior: bastidor estructural y sistema de movilidad.....	87
Figura 35. Subconjunto superior: sistema de elevación y grúa móvil.....	87
Figura 36. Subconjunto sistema de elevación	88
Figura 37. Subconjunto brazo basculante.....	88
Figura 38. Conjunto completo de la grúa móvil.....	89
Figura 39. Detalle del cajetín normalizado empleado en los planos de fabricación (ejemplo: larguero 1).....	90
Figura 40. Ejemplo de plano de fabricación de componente estructural del banco de ensayos (larguero del bastidor)	91
Figura 41. Vista explosionada del subconjunto inferior: bastidor y sistema de movilidad.	92
Figura 42. Vista explosionada del subconjunto superior: sistema de elevación y grúa móvil	93
Figura 43. Vista explosionada del sistema de elevación	93
Figura 44. Vista explosionada del brazo basculante.....	94
Figura 45. Plano de conjunto general del banco de ensayos	95
Figura 46. Esquema hidráulico del banco de ensayos	96
Figura 47. Esquema eléctrico de mando y potencia	98

Figura 48. Esquema eléctrico del sistema de bombeo de la depuradora	99
Figura 49. Esquema del caudalímetro y de la cadena de adquisición de datos.	100
Figura 50. Diagrama de Gantt sobre la planificación del proyecto	108

Índice de tablas

Tabla 1. Cisternas de purines según configuración estructural	30
Tabla 2. Capacidades volumétricas según el tipo de cisterna.....	30
Tabla 3. Reducción de emisiones de NH ₃ asociada a los distintos sistemas de aplicación de purines.	33
Tabla 4. Anchura de trabajo según sistema de distribución de purines. Fuente: elaboración propia a partir de catálogos técnicos de los fabricantes [6], [11].....	33
Tabla 5. Número de bocas según sistema de distribución de purines	34
Tabla 6. Caudales de operación según sistema de distribución de purines	35
Tabla 7. Comparativa estructural de cisternas de purines según su configuración	37
Tabla 8. Parámetros técnicos de los principales sistemas de aplicación de purines.....	37
Tabla 9. Requisitos técnicos globales del banco de ensayos.....	42
Tabla 10. Modos de operación de la válvula de seis posiciones	58
Tabla 11. Datos de configuración de la cisterna del ensayo simulado	77
Tabla 12. Parámetros calculados del ensayo longitudinal.....	79
Tabla 13. Parámetros calculados del ensayo transversal.....	81
Tabla 14. Resumen del ensayo simulado y veredicto global.....	82
Tabla 15. Parámetros financieros	102
Tabla 16. Parámetros operativos	103
Tabla 17. Resumen del CAPEX por subsistemas.....	104
Tabla 18. Resumen del OPEX anual	105
Tabla 19. Cálculo del coste anual equivalente y del coste medio por ensayo.....	106

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de los recursos en el ámbito agrícola se ha convertido en una prioridad ante los desafíos medioambientales y normativos actuales. La necesidad de optimizar el uso de fertilizantes y reducir el impacto ambiental de las explotaciones ganaderas ha puesto el foco en la correcta aplicación de purines como fuente principal de nutrientes para el suelo. No obstante, una distribución inadecuada puede provocar pérdidas de eficiencia agronómica, inadecuada fertilización y riesgos de contaminación de suelos y aguas, comprometiendo tanto la productividad como el cumplimiento de la normativa vigente.

Las cisternas esparcidoras de purines constituyen el elemento fundamental en este proceso, ya que son responsables de la distribución del fertilizante orgánico sobre el terreno. Sin embargo, su comportamiento depende de múltiples variables, tales como el caudal, la velocidad de avance, el tipo de sistema distribuidor o las características del purín. La evaluación de la uniformidad de reparto resulta compleja cuando se realiza exclusivamente en condiciones reales de campo, donde factores externos como la topografía, el viento o la variabilidad del terreno dificultan la obtención de resultados repetibles y comparables.

Ante estas limitaciones, surge la necesidad de desarrollar soluciones técnicas que permitan analizar de forma objetiva y controlada el comportamiento de estos equipos. El diseño de un banco de ensayos específico para cisternas de purines se plantea como una herramienta capaz de reproducir condiciones representativas de funcionamiento, facilitando la obtención de datos fiables y contribuyendo a la mejora técnica de los sistemas de distribución.

En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo el diseño y desarrollo de un banco de ensayos según norma para la evaluación de cisternas esparcidoras de purines. El proyecto, realizado en colaboración con la Estación Mecánica Agrícola, integra el diseño mecánico del sistema, la definición de las infraestructuras de obra civil necesarias y el análisis económico asociado a su implantación.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La realización de este proyecto surge de la necesidad de disponer de herramientas técnicas que permitan evaluar de forma objetiva y reproducible el comportamiento de las cisternas espaciadoras de purines, especialmente enfocado a la distribución transversal y longitudinal. La correcta aplicación de purines es un factor clave para garantizar la eficiencia agronómica, reducir el impacto ambiental y cumplir con los requisitos de la normativa agrícola.

Asimismo, la limitada disponibilidad de bancos de ensayo específicos para este tipo de maquinaria, junto con las dificultades que se presentan en los ensayos realizados en condiciones reales de campo, pone de manifiesto realizar un sistema controlado. Este banco permite minimizar la influencia de variables externas, mejorar la repetibilidad y facilitar la comparación entre resultados.

Desde el punto de vista académico y técnico, el proyecto presenta una oportunidad para integrar los conocimientos de diseño mecánico, obra civil y gestión económica, aplicándolos a un caso real vinculado a la Estación Mecánica Agrícola. De este modo, el trabajo no solo responde a una necesidad práctica del sector, sino a desarrollar una solución técnicamente viable y transferible en el ámbito profesional.

1.2 ESTADO DE LA CUESTIÓN

La aplicación de purines como fertilizante orgánico es una práctica ampliamente extendida en el sector agrícola, debido a su elevado contenido en nutrientes y a su contribución a la economía circular en explotaciones ganaderas. Sin embargo, la correcta distribución del purín sobre el terreno constituye un aspecto crítico, ya que una aplicación irregular puede provocar ineficiencias agronómicas, impactos medioambientales negativos y dificultades para cumplir con la normativa vigente en materia de fertilización y emisiones.

Actualmente existen distintos sistemas de distribución de purines integrados en cisternas espaciadoras, tales como platos distribuidores, boquillas, mangueras o sistemas de

aplicación localizada. Estos sistemas presentan comportamientos diferentes en función de múltiples variables, como el caudal, la velocidad de avance, las características del purín o la geometría del distribuidor. Como consecuencia, la evaluación objetiva de la uniformidad del reparto, tanto en sentido longitudinal como transversal, resulta esencial para garantizar el correcto funcionamiento del conjunto.

En el ámbito de la verificación y ensayo de maquinaria agrícola, se han desarrollado metodologías y protocolos que permiten analizar la distribución de fertilizantes y líquidos, generalmente en ensayos en campo. No obstante, los ensayos en campo presentan limitaciones como la influencia de factores externos (pendiente, terreno, condiciones meteorológicas) y la dificultad de realizar ensayos repetibles y comparables.

Por este motivo, en los últimos años se ha incrementado el uso de los bancos de ensayo en entornos controlados, permitiéndonos aislar las variables, mejorar la precisión de las mediciones y reducir costes. A pesar de ello, la disponibilidad de bancos de ensayo específicamente para purines es limitada, y en muchos casos se recurre a adaptaciones como sistemas para otro tipo de fertilizantes.

En este contexto, se identifica la necesidad técnica de disponer de un banco de ensayos específico, capaz de evaluar de forma sistemática y objetiva la distribución longitudinal y transversal de cisternas espaciadoras de purines. Dicho banco debe integrar aspectos mecánicos, estructurales y funcionales que permitan reproducir condiciones de trabajo específicas, garantizando la seguridad, repetición de ensayos y la fiabilidad de los resultados obtenidos.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo general del proyecto es el diseño y definición de un banco de ensayos destinado a la evaluación de la distribución longitudinal y transversal de cisternas espaciadoras de purines, que permita realizar ensayos en condiciones controladas y obtener resultados fiables y repetibles.

De este objetivo general se derivan los siguientes objetivos específicos:

1. **Diseñar mecánicamente el banco de ensayos**, definiendo su configuración, componentes principales y funcionamiento, de forma que permita reproducir las condiciones de trabajo representativas de las cisternas de purines.
2. **Establecer un sistema de medición y análisis de distribución del purín**, que permita evaluar de manera objetiva la uniformidad de reparto tanto en sentido longitudinal como transversal.
3. **Definir las necesidades de obra civil asociadas al banco de ensayos**, incluyendo cimentaciones, plataformas, canalizaciones y demás elementos estructurales necesarios para su correcta implantación y operación.
4. **Evaluar la viabilidad técnica y económica del proyecto**, considerando los costes de fabricación, instalación y puesta en marcha del banco de ensayos, así como la gestión de proveedores y recursos necesarios.
5. **Garantizar que el banco de ensayos cumpla con los criterios de seguridad, funcionalidad y fiabilidad**, de modo que pueda ser utilizado de forma continuada en el ámbito de la Estación Mecánica Agrícola.

1.4 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

El desarrollo del proyecto se encuentra alineado con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en tanto que contribuye a una gestión más eficiente y sostenible de los recursos agrícolas, así como a la mejora de los procesos asociados a la aplicación de purines.

En particular el proyecto se alinea con los siguientes ODS:

- **ODS 2. Hambre cero**

El banco de ensayos contribuye a la eficiencia en la fertilización agrícola mediante la distribución eficiente, uniforme y controlada de purines. Una correcta distribución favorece el aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles, mejora la productividad de los cultivos y reduce pérdidas, aspectos directamente relacionados con la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y la seguridad alimentaria.

- **ODS 9. Industria, innovación e infraestructura**

El proyecto se alinea con este objetivo al centrarse en el diseño y desarrollo de una infraestructura técnica de ensayo, específicamente para la validación de maquinaria agrícola. El banco de ensayos integra conocimientos de diseño mecánico, funcionalidad, repetibilidad y seguridad, promoviendo la innovación y el avance tecnológico en el ámbito agrario. Asimismo, la creación de este tipo de infraestructuras contribuye a mejorar procesos de evaluación y homologación de equipos agrícolas.

- **ODS 12. Producción y consumo responsables**

La correcta distribución de purines como fertilizante orgánico constituye un elemento clave en la economía circular en el sector ganadero y agrícola. Mediante la evaluación de la uniformidad de distribución, el banco permite reducir aplicaciones ineficientes, desperdicios y riesgos ambientales asociados. De este modo el proyecto fomenta un uso racional y responsable de los recursos, alineándose con los principios de producción y consumo sostenible.

1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología para el desarrollo del trabajo se basa en un enfoque estructurado y secuencial, orientado a garantizar la coherencia técnica del proyecto y la viabilidad del banco de ensayos. El trabajo se ha abordado combinando análisis, diseño, dimensionamiento y

evaluación económica, integrando conocimientos de ingeniería mecánica, obra civil y gestión de proyectos.

El proyecto se ha abordado a través de las siguientes fases:

1. **Análisis del problema y definición de requisitos**, a través de la identificación de las necesidades funcionales del banco de ensayos, definición de los tipos de cisternas a evaluar, condiciones de funcionamiento, variables a medir y criterios de seguridad y operatividad.
2. **Diseño conceptual del banco de ensayos**, con el desarrollo de una propuesta inicial de configuración del banco, definiendo su posición general, principios de funcionamiento y alternativas de diseño, con el fin de seleccionar la solución más adecuada.
3. **Diseño detallado y dimensionamiento mecánico**, mediante la definición de los componentes mecánicos principales del banco de ensayos y la realización de cálculos necesarios para su correcto dimensionamiento, garantizando la resistencia estructural, funcionalidad y fiabilidad del conjunto-
4. **Definición de las soluciones de obra civil**, a través del análisis y diseño de las infraestructuras necesarias del banco de ensayos, componentes y servicios requeridos, así como la identificación y evaluación de proveedores, con el objetivo de analizar la viabilidad técnica del proyecto.
5. **Integración de resultados y redacción final**, mediante la revisión global del proyecto, verificación del cumplimiento de los objetivos planteados y elaboración de la documentación final del Trabajo de Fin de Grado.

1.6 RECURSOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto se han considerado los recursos necesarios desde un punto de vista técnico, material y organizativo, asegurando su disponibilidad y adecuación con los objetivos planteados.

Los principales recursos empleados son los siguientes:

1. Recursos técnicos de diseño

Se han utilizado herramientas de diseño asistido (CAD) para el desarrollo de diseño mecánico del banco de ensayo. Asimismo, se han utilizado herramientas de cálculo para el dimensionamiento de elementos estructurales, análisis de cargas y estimación de costes asociados al proyecto.

2. Recursos materiales

Se han considerado recursos materiales y componentes necesarios para la fabricación del banco de ensayos, tales como perfiles estructurales, elementos mecánicos, sistemas de medición y componentes auxiliares. La selección de los recursos se realizará atendiendo la disponibilidad, funcionalidad, coste y adecuación al entorno.

3. Recursos de obra civil

Se han tenido en cuenta los recursos necesarios para la ejecución de las infraestructuras asociadas al banco de ensayos incluyendo plataformas, cimentaciones y canalizaciones. Estos recursos se definirán en función de las necesidades del diseño mecánico y las condiciones en la Estación Mecánica Agrícola.

4. Recursos humanos

El desarrollo del proyecto ha sido realizado por el autor del Trabajo de Fin de Grado, contando con la supervisión y orientación del director. Asimismo, se ha considerado la colaboración de la Estación Mecánica Agrícola.

5. Recursos organizativos y de gestión

Para la planificación y el seguimiento del proyecto se emplearán herramientas de gestión que permiten organizar las distintas fases del proyecto, coordinar tareas y controlar plazos, facilitando la ejecución ordenada y eficiente del proyecto.

Capítulo 2. MARCO NORMATIVO Y BASES DEL ENSAYO

El diseño de un banco de ensayos para cisternas de purines no se trata solamente de un problema puramente mecánico, sino que hay que cada decisión en la geometría o procedimiento debe sustentarse en un marco normativo que garantice que los resultados obtenidos son técnicamente válidos, legales y comparables entre equipos de distintos fabricantes. Este capítulo recoge las normas que constituyen ese marco.

Se parte del Real Decreto 448/2020 [1], que establece el sistema de marcas de calidad agrícola en España y otorga a los ensayos su valor jurídico. A continuación, se describe la norma UNE-EN 13406:2003 [2], núcleo técnico del proyecto junto con los ensayos longitudinal y transversal. Se completa con el Pliego de Prescripciones Técnicas asociado a la marca de calidad, y finalmente, con la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 [4], que regula la competencia de los laboratorios de ensayo y fija las exigencias meteorológicas que debe satisfacer.

2.1 SISTEMA DE MARCAS DE CALIDAD AGRÍCOLA (RD 448/2020)

La evaluación técnica de maquinaria agrícola en España se encuentra regulada por el Real Decreto 448/2020, mediante el cual se establece un marco destinado a promover la mejora técnica funcional y medioambiental de la maquinaria empleada en el sector agrario [1]. Dentro de este marco, las cisternas esparcidoras de purines adquieren una especial relevancia debido a su impacto en la uniformidad de su aplicación y la reducción de emisiones contaminantes asociadas al purín.

Para obtener esta certificación, los fabricantes pueden someter sus máquinas a ensayos realizados designados oficialmente, como la Estación de Mecánica Agrícola (EMA). En el

caso de las cisternas de purines, dichos ensayos se basan principalmente en la norma UNE-EN 13406:2003, encargada de establecer los requisitos y métodos de ensayo relacionados con la distribución longitudinal y transversal del purín [2].

En este contexto, el desarrollo de un banco específico es fundamental para poder reproducir las condiciones reales de funcionamiento y realizar las mediciones exigidas por la normativa con la precisión necesaria. Por tanto, el proyecto se orienta para ser capaz de dar una instalación para dar soporte a los procedimientos de ensayo contemplados dentro del sistema de marcas de calidad agrícola.

2.2 NORMA UNE-EN 13406:2003

La norma UNE-EN 13406:2003 constituye la principal referencia técnica para la evaluación de cisternas esparcidoras de purines y dispositivos de aplicación desde el punto de vista de la uniformidad de distribución y la protección medioambiental [2]. Su objetivo es establecer requisitos y métodos de ensayos normalizados que permitan evaluar el comportamiento de estos equipos en condiciones de funcionamiento reales, garantizando la distribución homogénea del purín y un control adecuado de la dosis aplicada.

El ámbito de aplicación de la norma incluye tanto las cisternas esparcidoras de purines como los distintos sistemas de distribución utilizados en agricultura y horticultura, contemplando dispositivos de aplicación a voleo y sistemas de distribución en bandas [2]. Asimismo, la norma define los procedimientos necesarios para la realización de ensayos de distribución longitudinal y transversal, utilizados para analizar la uniformidad de la aplicación del purín.

La estructura de la UNE-EN 13406:2003 se organiza en diferentes apartados relacionados con definiciones, requisitos técnicos, condiciones de ensayo, métodos de verificación e informes de resultados [2]. Dentro de las definiciones incluidas por la norma destacan varios conceptos fundamentales para el desarrollo de los ensayos y el diseño del banco experimental:

- **Cisterna de purines:** máquina destinada al manejo, transporte y distribución del purín.
- **Dispositivo de distribución a voleo:** sistema diseñado para distribuir el purín sobre toda la superficie del terreno.
- **Dispositivos de distribución en bandas:** sistema destinado a aplicar el purín en bandas completas.
- **Anchura de trabajo:** distancia desde el centro de dos pasadas consecutivas.
- **Anchura de proyección:** distancia comprendida entre los extremos de un sistema de distribución transversal.
- **Tiempo de descarga:** tiempo necesario para vaciar el 95% del tanque de purín.
- **Caudal característico:** caudal medio establecido durante el tiempo de descarga.
- **Dosis de aplicación característica:** dosis de aplicación obtenida a partir del caudal característico, la anchura de trabajo y la velocidad de avance.
- **Zona de tolerancia:** intervalo comprendido entre el ± 15 % del caudal característico.
- **Duración dentro de la zona de tolerancia:** porcentaje de tiempo de descarga durante el cual el caudal instantáneo permanece dentro de los límites admisibles.
- **Distribución unidireccional:** distribución obtenida cuando la cisterna se mueve en dos pasadas adyacentes en el mismo sentido.
- **Distribución bidireccional:** distribución obtenida cuando la cisterna se mueve en dos pasadas adyacentes en sentidos contrarios [2].

La norma también distingue entre distribución unidireccional y bidireccional, conceptos utilizados en el análisis de la uniformidad de distribución del purín en determinados sistemas de aplicación [2]. Además, establece límites máximos de desviación de tolerancia y criterios significativos relacionados con el coeficiente de variación y la estabilidad del caudal durante el ensayo.

En consecuencia, la UNE-EN 13406:2003 constituye la base técnica principal del diseño del banco de ensayos desarrollado en este proyecto, ya que define las condiciones de medida

como los parámetros y criterios que deben verificarse durante la evaluación de las cisternas de purines.

2.3 ENSAYO DE DISTRIBUCIÓN LONGITUDINAL

El ensayo de distribución longitudinal tiene como objetivo evaluar la estabilidad del caudal suministrado por la cisterna de purines durante el proceso de descarga. Este ensayo permite determinar si el equipo es capaz de mantener un caudal uniforme a lo largo del tiempo de distribución, evitando variaciones excesivas que puedan provocar aplicaciones irregulares en el terreno.

Según la norma UNE-EN 13406:2003, la distribución longitudinal se analiza mediante el registro continuo del caudal de salida durante el tiempo de descarga de la cisterna [2]. A partir de estos datos se determina el caudal característico y se verifica el porcentaje de tiempo en el que el caudal instantáneo permanece dentro de la zona de tolerancia establecida.

La norma establece que la duración dentro de la zona de tolerancia debe superar el 90 % del tiempo total de descarga. Para ello, los caudales instantáneos deben mantenerse dentro del intervalo correspondiente al ± 15 % respecto al caudal característico [2]. Además, la norma también incluye la determinación de la dosis aplicación característica, calculada a partir del caudal medio, a la anchura de trabajo y la velocidad de avance de la máquina.

Para la realización de este ensayo es imprescindible disponer de un sistema de medición continua del caudal. En el caso del banco de ensayos realizado, el Pliego de Prescripciones Técnicas establece la utilización de un caudalímetro capaz de trabajar en un rango comprendido entre 0 y 100 l/s, con una frecuencia mínima de adquisición de datos de 2 Hz y una resolución mínima de dos decimales [3]. Asimismo, el sistema de adquisición de datos debe registrar simultáneamente el tiempo y el caudal instantáneo, permitiendo representar la evolución del caudal durante el proceso.

El software asociado al banco de ensayos debe ser capaz de procesar automáticamente la información registrada y generar gráficas de caudal en función del tiempo de descarga,

incluyendo el cálculo del caudal medio y de los límites correspondientes a la zona de tolerancia definidos por la norma UNE-EN 13406:2003 [3].

Durante el ensayo, el purín debe de presentar unas propiedades físicas determinadas y mantenerse homogéneo mediante sistemas adecuados de agitación. Además, la norma establece que el ensayo debe iniciarse 15 minutos desde el llenado de la cisterna, con el objetivo de garantizar la estabilidad de las características del fluido durante la prueba [2].

La información obtenida durante este proceso resulta fundamental para evaluar el comportamiento hidráulico de la cisterna y la estabilidad del sistema de distribución, permitiendo detectar posibles problemas relacionados con fluctuaciones de presión, obstrucciones o pérdidas de uniformidad en la descarga. Garantizado la efectividad de la cisterna y la distribución del purín sobre el terreno.

2.4 ENSAYO DE DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL

El ensayo de distribución transversal tiene como finalidad analizar la uniformidad lateral de aplicación del purín sobre el terreno. Este procedimiento permite evaluar si la distribución por la cisterna mantiene una dosificación homogénea a lo largo de toda la anchura de trabajo, faceta fundamental para garantizar una aplicación uniforme del fertilizante y minimizar el impacto ambiental asociado a sobre aplicaciones del purín o zonas sin cobertura.

La metodología definida en la norma UNE-EN 13406:2003 varía en función del tipo de sistema de aplicación empleado, distinguiéndose principalmente entre dispositivos de distribución a voleo y sistemas de aplicación en bandas [2].

En el caso de los dispositivos de distribución a voleo, la uniformidad se evalúa mediante el cálculo del coeficiente de variación (CV) de la distribución transversal. La norma establece que dicho coeficiente debe ser inferior al 20 % para considerar válida la uniformidad de reparto [2]. Por otro lado, en los dispositivos de aplicación de bandas, la evaluación se realiza mediante el cálculo de la desviación media entre salidas, estableciéndose un límite máximo del 15 % [2].

Para la realización de este ensayo se emplean recipientes de recogida situados bajo las salidas del sistema distribuidor. En aplicaciones en bandas, la norma específica que debe existir un recipiente individual bajo cada orificio de salida, permitiendo recoger de forma independiente el caudal suministrado por cada boca de distribución [2]. Asimismo, el Pliego de Prescripciones Técnicas establece el uso de 60 cubetas con capacidad aproximada de 100 litros, diseñadas de forma que puedan colocarse unas junto a otras sin interferencias [3].

Una vez finalizada la aplicación, el contenido recogido en cada cubeta debe pesarse individualmente utilizando una báscula con la precisión exigida por la norma UNE-EN 13406:2003 [2]. Posteriormente, los valores obtenidos son procesados por el software del sistema para generar las curvas de distribución transversal y calcular automáticamente los parámetros estadísticos para la evaluación del ensayo.

Además, la norma establece determinadas condiciones ambientales y operativas durante la realización del ensayo, especialmente en sistemas de aplicación de voleo. Entre ellas destacan las limitaciones de velocidad del viento y la necesidad de realizar el ensayo sobre superficies horizontales y uniformes, con el objetivo de reducir la influencia de factores externos sobre los resultados obtenidos [2].

La correcta ejecución de este ensayo resulta esencial para determinar la calidad del reparto de la máquina y su capacidad para aplicar el purín de manera homogénea, factor especialmente importante desde el punto de vista agronómico y medioambiental.

2.5 REQUISITOS TÉCNICOS DEL PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS

El Pliego de Prescripciones Técnicas elaborado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación establece las características mínimas que debe cumplir el banco de ensayos destinado a la evaluación de cisternas de purines [3]. Este documento define tanto los

elementos principales del sistema como los requisitos funcionales necesarios para garantizar la correcta realización de los ensayos incluidos en la norma UNE-EN 13406:2003.

Entre los principales componentes exigidos se encuentran [3]:

- Depósito de agua con capacidad de 20.000 litros.
- Sistema de bombeo para el trasiego y recirculación del agua.
- Caudalímetro para la medición del caudal.
- Sistema de adquisición de datos.
- Software específico para los ensayos longitudinales y transversales.
- 60 cubetas de recogida.
- Báscula para el pesaje de las cubetas.
- Colector principal con tapa de protección.

El pliego establece además requisitos funcionales para cada uno de estos elementos. En el caso del sistema hidráulico, exige que el sistema de bombeo sea capaz tanto de recircular el agua desde el colector hacia los depósitos como de llenar la cisterna [3]. Respecto al caudalímetro, se especifica que debe trabajar en un rango comprendido entre 0 y 100 l/s, con una frecuencia mínima de adquisición de datos de 2 Hz y una resolución mínima de dos decimales [3].

Asimismo, el documento define los requisitos relacionados con el diseño y la manipulación de las cubetas de ensayo, indicado que estas deben permitir una recogida individual del purín y facilitar tanto el transporte como el vaciado de estas [3]. En relación con el colector principal, el pliego establece unas dimensiones aproximadas de 20 metros de longitud, 2 metros de anchura y 0,5 metros de profundidad, además de exigir una superficie impermeable, antideslizante y protegida mediante una tapa rígida [3].

Otro de los elementos fundamentales definidos en el pliego es el software de adquisición y tratamiento de datos. Este debe permitir registrar los valores de caudal y pesaje obtenidos durante los ensayos, representar gráficamente los resultados y generar los parámetros necesarios para la evaluación de la distribución longitudinal y transversal [3].

Además de las características constructivas y funcionales, el pliego establece una serie de criterios generales que debe cumplir el banco de ensayos, entre los que destacan [3]:

- Alta fiabilidad de las medidas.
- Operatividad y facilidad de uso.
- Seguridad de los operarios.
- Respeto medioambiental.

En consecuencia, el Pliego de Prescripciones Técnicas constituye una referencia fundamental para el diseño del banco de ensayos desarrollado en este proyecto, ya que define los requisitos técnicos y operativos necesarios para garantizar la correcta realización de los ensayos conforme a la norma UNE-EN 13406:2003.

2.6 NORMA UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 — COMPETENCIA DE LABORATORIOS

La norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 establece los requisitos generales relativos a la competencia técnica de los laboratorios de ensayo y calibración [4]. Su aplicación garantiza que los resultados obtenidos durante los ensayos sean técnicamente válidos, trazables y reproducibles, constituyendo el principal marco de referencia para la acreditación de laboratorios.

Esta norma resulta muy relevante en instalaciones donde se realizan ensayos normalizados y procedimiento de medida de alta precisión, como es el caso de el banco de ensayos para maquinaria agrícola. En este contexto, la UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 define los criterios necesarios para asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos y el correcto funcionamiento de los sistemas de medida empleados durante los ensayos.

La norma se estructura en varios bloques principales relacionados con [4]:

- Requisitos generales de imparcialidad y confidencialidad.

- Requisitos estructurales y organizativos.
- Competencia del personal técnico.
- Adecuación y mantenimiento de equipos.
- Trazabilidad metrológica.
- Gestión documental.
- Aseguramiento de la calidad de los resultados.
- Gestión de no conformidades y acciones correctivas.

Uno de los más importantes de esta norma es garantizar la trazabilidad de todas las medidas realizadas durante los ensayos. Esto implica que equipos como caudalímetros, básculas y sistemas de adquisición de datos deben calibrarse periódicamente mediante patrones y procedimientos documentados [4].

Asimismo, la norma exige que todos los procedimientos de ensayo estén claramente definidos y normalizados, minimizando la incertidumbre de medida y asegurando la repetibilidad de los resultados obtenidos. En el caso concreto del banco de ensayos de cisternas de purines, este aspecto resulta muy importante debido a la dependencia de los resultados respecto a la precisión de las medidas de caudal y masa.

Otro aspecto fundamental es la competencia técnica del personal encargado de los ensayos. La norma establece que los operadores deben estar adecuadamente formados y cualificados para realizar las tareas asignadas, así como conocer los procedimientos de ensayo y calibración aplicables [4]. Del mismo modo, la gestión de la documentación adquiere un papel clave, ya que los resultados, configuraciones de ensayo y calibraciones deben de quedar correctamente registrados para garantizar la trazabilidad de cada ensayo realizado.

La aplicación conjunta de la UNE-EN 13406:2003 y de los criterios establecidos por la UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 permite establecer un sistema consistente, técnicamente fiable y alineado con los requisitos exigidos en los procesos de certificación. Además, el Pliego de Prescripciones Técnicas establece los requisitos relacionados con la fiabilidad de

las medidas, la adquisición de datos y la precisión de los equipos empleados durante el proceso.

En consecuencia, el diseño del banco de ensayos de este proyecto no solo debe responder a criterios funcionales y mecánicos, sino también a requisitos asociados a la precisión meteorológica, trazabilidad y fiabilidad de los resultados obtenidos.

Una vez definido el marco normativo y técnico aplicable a los ensayos de cisternas de purines, el siguiente capítulo abordará el estudio de las distintas tipologías de cisternas y sistemas de distribución existentes en la actualidad. Este análisis permitirá establecer las condiciones reales de funcionamiento que deberá reproducir el banco de ensayos y servirá como base para el posterior diseño mecánico y funcional del sistema experimental.

Capítulo 3. ESTUDIO DE MERCADO DE CISTERNAS DE PURINES

En el presente estudio de mercado se analizan las principales características técnicas de las cisternas de purines, con el objetivo de contemplar las diferentes soluciones existentes en la actualidad y establecer una referencia para el diseño y dimensionamiento del banco de ensayos.

A través de este se identifican los rangos habituales de una cisterna de purines, así también como sus principales características técnicas, considerando parámetros como las capacidades volumétricas, la velocidad de funcionamiento, la marca y los caudales de operación, entre otros.

Este estudio permite, asimismo, detectar las necesidades técnicas y funcionales que debe cumplir el banco de ensayos para alcanzar el objetivo del proyecto. De este modo, el análisis no solo se limita a la descripción actual del sector, sino que constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones de diseño, asegurando que el banco sea capaz de evaluar de forma objetiva y en condiciones representativas el comportamiento de las cisternas de purines.

3.1 PANORAMA GENERAL DEL MERCADO

Las cisternas de purines constituyen uno de los equipos fundamentales en la gestión y aplicación de fertilizantes orgánicos en explotaciones ganaderas y agrícolas. Su uso se encuentra ampliamente extendido debido al elevado número de nutrientes del purín y su papel fundamental en el modelo de economía circular del sector agrario.

En la actualidad, el mercado ofrece una amplia variedad de soluciones técnicas, adaptadas a distintos tamaños de explotación, condiciones de trabajo y exigencias normativas. Esta diversidad se traduce en altas capacidades volumétricas, diferentes configuraciones y

sistemas de distribución, lo que pone de manifiesto la necesidad de analizar de forma estructurada los diferentes parámetros que caracterizan este tipo de máquinas.

Durante los últimos años ha producido una evolución significativa en el diseño de las cisternas de purines adaptándose a la demanda del sector y la incorporación de nuevas tecnologías. En la actualidad existe una amplia gama de cisternas, como las de un eje, dos ejes tipo tándem o cisternas trídém, entre otras, que ofrecen distintas configuraciones y características técnicas en función de las necesidades de explotación.

Asimismo, el endurecimiento de la normativa medioambiental y fertilización ha impulsado la implantación de nuevas técnicas y tecnologías, lo que ha incrementado la complejidad de este tipo de maquinaria. Como consecuencia, la verificación del funcionamiento y comportamiento de estos equipos se ha convertido en un aspecto clave en los procesos de evaluación y ensayo.

En este escenario, el estudio de mercado de cisternas de purines resulta esencial para comprender las diferentes soluciones técnicas actualmente disponibles, permitiendo establecer los límites y requisitos que deben considerarse en el diseño del banco de ensayos y asegurando su adecuación a las condiciones reales de uso.

3.2 PARÁMETROS TÉCNICOS DE LAS CISTERNAS DE PURINES

3.2.1 PRINCIPALES FABRICANTES Y MARCAS

En este apartado se identifican los principales fabricantes europeos y nacionales. El objetivo es situar el contexto industrial del mercado, recogiendo las marcas más representativas para posteriormente realizar el análisis de los parámetros técnicos y la definición de los requisitos de ensayo.

3.2.1.1 Fabricantes Internacionales

- **Joskin (Bélgica)**

Fabricante enfocado en productos agrícolas que ofrece una amplia gama de cisternas, incluyendo modelos de gran capacidad con tecnologías avanzadas y configuraciones de uno, dos y tres ejes [6].

- **Bossini (Italia)**

Fabricante enfocado en maquinaria para los sectores agrícola, frutal y ganadero, entre otros. Dispone de varios modelos de cisternas de purines con capacidades que alcanzan hasta los 40.000 l y una gama compuesta por cinco modelos [7].

- **Pichon (Francia)**

Fabricante especializado en cisternas de purines que ofrece dos principales gamas de producto, SV y MK con capacidades máximas de hasta 20 m³ y 24 m³ respectivamente [8].

- **Veenhuis (Países Bajos)**

Empresa especializada en cisternas de purines, con una amplia gama de soluciones técnicas y configuraciones de uno y tres ejes, con capacidades hasta 30.000 litros [9].

- **Samson Agro (Dinamarca)**

Fabricante especializado en cisternas de purines que ofrece distintas gamas de maquinaria, como Samson TG, Samson PG II Genesis y Samson PG II, con capacidades de hasta 35,4 m³ [10].

3.2.1.2 Fabricantes Nacionales

- **Rigual (Huesca)**

Fabricante especializado en cisternas de purines equipadas con tecnología avanzada de control mediante PLC. Ofrece tres principales gamas de producto, correspondientes a configuraciones de un eje, dos ejes y trídem [13].

- **Cisternas Agudo (Toledo)**

Empresa especializada en cisternas, ofrecen varios tipos de cisternas distintas especialidades y capacidades, incluyendo aplicadores y dosificadores propios [16].

- **Gili (Lleida)**

Empresa especializada en maquinaria agrícola que ofrece cisternas de purines con diversas configuraciones y sistemas de distribución, orientadas principalmente al mercado nacional [15].

- **Beguer (Huesca)**

Fabricante nacional especializado en maquinaria agrícola, incluye en su catálogo cisternas de purines destinadas a un uso intensivo, con diferentes opciones de equipamiento y capacidades [17].

3.2.2 TIPOS DE CISTERNA SEGÚN CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

Las cisternas de purines pueden clasificarse según su configuración estructural, siendo el número de ejes un criterio relevante. Este parámetro condiciona de forma directa la capacidad volumétrica de la cisterna, la estabilidad del conjunto, el rango de aplicaciones al que se destina la cisterna, entre otros. Dado que los fabricantes organizan sus cisternas en familias, en este estudio se analizan tipos de cisterna representativos, sin descender al nivel de modelos individuales.

A continuación, se describen de forma resumida los principales tipos de cisternas de purines según su estructura:

Tipo de cisterna	Descripción Estructural	Uso habitual
1 eje	Destacan por su diseño compacto, con limitaciones estructurales que restringen el volumen máximo transportable.	Explotaciones pequeñas como árboles, viñedos, y cultivos extensivos de distancias cortas.
Tándem (2 ejes)	Configuración extendida que permite una mejor distribución de cargas y un	Explotaciones de tamaño medio y grande, con un uso profesional habitual.

aumento en la capacidad volumétrica, mantienen un buen compromiso entre estabilidad y maniobrabilidad.

Trídem (3 ejes)	Orientadas al transporte de grandes volúmenes, con una distribución de cargas más eficiente y una elevada estabilidad del conjunto.	Grandes explotaciones y aplicaciones de uso más intensivo.
-----------------	---	--

Tabla 1. Cisternas de purines según configuración estructural

Elaboración propia a partir de fuente [20]

3.2.3 CAPACIDADES VOLUMÉTRICAS

La capacidad volumétrica de las cisternas de purines está directamente correlacionada con el tipo de cisterna según su estructura, ya que esta determina la carga admisible y la estabilidad del conjunto. En consecuencia, las capacidades disponibles en el mercado se distribuyen en función del tipo de cisterna analizado.

De forma general, a partir de los principales fabricantes, se identifican los siguientes rangos de capacidad volumétrica:

Tipo de cisterna	Capacidad volumétrica (L)
1 eje	3.000 – 10.000
Tándem (2 ejes)	10.000 – 24.000
Trídem (3 ejes)	18.000 – 30.000

Tabla 2. Capacidades volumétricas según el tipo de cisterna

Elaboración propia a partir de fuentes [6], [13] y [20]

Estos rangos permiten establecer una referencia para el análisis posterior de funcionamiento y para la definición de los requisitos del banco de ensayos, garantizando que el diseño contemple las condiciones de operación representativas del mercado real.

3.2.4 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN Y APLICACIÓN

La evaluación de los sistemas de aplicación de purines se encuentra regulada por la norma UNE-EN 13406:2003, que establece requisitos y métodos de ensayo relacionados con la uniformidad de distribución y el comportamiento medioambiental de las cisternas esparcidoras de purín [2].

3.2.4.1 Tipologías de sistemas de aplicación

Los sistemas de distribución de purines constituyen el elemento final del conjunto cisterna-aplicador y son los responsables de la forma de aplicación del purín en el terreno. La tipología del sistema de distribución condiciona la uniformidad de aplicación, la anchura de trabajo, el número de puntos de salida y la sensibilidad del sistema a variables como el caudal y la velocidad de avance.

Los fabricantes emplean distintas denominaciones comerciales para los aplicadores de purines; no obstante, en el presente estudio se adopta una clasificación funcional basada en el principio de aplicación y la geometría del sistema, permitiendo agrupar los distintos modelos comerciales en tipologías representativas [8].

a) Sistema de enterrado por reja

El sistema de enterrado por reja utiliza un cultivador que deposita el purín en el surco abierto por las rejillas a través de conductos de distribución. Esta técnica reduce las pérdidas por volatilización de amoníaco, aunque en determinadas condiciones parte del purín puede volver a aflorar a la superficie.

b) Sistema de enterrado por disco

El sistema de enterrado por disco emplea un bastidor con discos acoplado a la parte posterior de la cisterna, que realiza una labor superficial del suelo e incorpora el purín. Se trata de una solución menos extendida debido a su mayor complejidad y necesidades de mantenimiento, aunque permite una incorporación más eficaz del purín al terreno.

c) Sistema de aplicación por bandas

El sistema de aplicación a bandas, también conocido como tubos colgantes, es el más extendido debido a su menor coste de fabricación y operación. Permite grandes anchuras de trabajo, lo que facilita aplicaciones a dosis más bajas y un reparto más homogéneo, además de requerir menores consumos de combustible y potencia de tracción al no trabajar el suelo.



Figura 1. Principales tipologías de sistemas de distribución de purines: (a) enterrado por reja, (b) enterrado por disco, (c) aplicación por bandas. Fuente: Catálogo del fabricante [6]

3.2.4.2 Eficiencia de los sistemas de aplicación

La eficiencia de los sistemas de aplicación de purines está directamente relacionada con la capacidad del método empleado para reducir las pérdidas de nutrientes y minimizar el impacto ambiental asociado a la aplicación. En este sentido, la elección del sistema de aplicación no solo condiciona aspectos mecánicos y operativos, sino que tiene un efecto significativo sobre la volatilización del amoníaco y el aprovechamiento agronómico del purín.

En la Tabla 3, se recoge una síntesis de la reducción en las emisiones NH_3 asociada a los distintos sistemas de aplicación, elaborada a partir de información técnica.

Sistema de distribución	Reducción de NH₃
Enterrado por reja	30 – 60 %
Enterrado por disco	70 %
Aplicación por bandas	90 %

Tabla 3. Reducción de emisiones de NH₃ asociada a los distintos sistemas de aplicación de purines.

Fuente: Elaboración propia a partir de [14]

3.2.5 ANCHURA DE TRABAJO

La anchura de trabajo es uno de los parámetros más relevantes en los sistemas de distribución de purines, ya que determina la superficie cubierta en cada pasada y condiciona directamente la uniformidad de aplicación, el número de puntos de salida y el dimensionamiento del banco de ensayos. Además, constituye uno de los parámetros fundamentales en los ensayos de distribución transversal definidos en la UNE-EN 13406:2003 [2].

Este parámetro depende fundamentalmente del tipo de aplicador y de su configuración, siendo habitual que cada tipología se ofrezca en distintos modelos con anchuras de trabajo crecientes.

A partir del análisis de los principales fabricantes, se identifican los siguientes rangos habituales de anchura de trabajo:

Sistema de distribución	Anchura de trabajo (m)
Enterrado por reja	2 - 9
Enterrado por disco	3 - 8
Aplicación por bandas	6 - 18

Tabla 4. Anchura de trabajo según sistema de distribución de purines.

Fuente: elaboración propia a partir de catálogos técnicos de los fabricantes [6], [11]

La presente tabla muestra que la anchura de trabajo se encuentra directamente relacionada con el número de bocas o salidas, ya que el aumento de anchura implica un mayor número de puntos de aplicación distribuidos de forma regular. Esta relación resulta clave para el análisis de la distribución transversal del purín.

3.2.6 NÚMERO DE BOCAS DEL DISTRIBUIDOR

El número de bocas constituye un parámetro fundamental en los sistemas de distribución de purines, ya que determina la resolución transversal de la aplicación y condiciona directamente la uniformidad de reparto del purín sobre el terreno. Este parámetro se encuentra estrechamente ligado a la anchura de trabajo y a la tipología del sistema de distribución, siendo habitual que los fabricantes ofrezcan distintas configuraciones dentro de un mismo sistema. La tabla a continuación presenta el rango de bocas según el sistema de distribución:

Sistema de distribución	Número de bocas
Enterrado por reja	4 - 19
Enterrado por disco	14 - 48
Aplicación por bandas	8 - 72

Tabla 5. Número de bocas según sistema de distribución de purines

Fuente: elaboración propia a partir de catálogos técnicos del fabricante [6]

La separación entre bocas suele mantenerse constante dentro de una misma tipología, con valores que permiten un compromiso adecuado entre uniformidad de aplicación y complejidad del sistema. Asimismo, la geometría del distribuidor suele ser simétrica respecto al eje longitudinal de la cisterna, favoreciendo una aplicación homogénea; no obstante, en determinados modelos pueden existir configuraciones asimétricas asociadas a restricciones constructivas o a adaptaciones específicas del terreno.

3.2.7 CAUDALES DE OPERACIÓN

Los rangos de caudal presentes en el mercado varían en función del sistema de aplicación empleado. Los sistemas más simples presentan caudales elevados y poco controlados, mientras que los sistemas más avanzados requieren un control más preciso del flujo para garantizar una distribución homogénea y ajustada a las exigencias normativas.

Sistema de distribución	Caudal de operación (m³/ha)
Enterrado por reja	25 - 50
Enterrado por disco	12 - 30
Aplicación por bandas	30 – 60 ¹

Tabla 6. Caudales de operación según sistema de distribución de purines

Fuente: catálogos técnicos del fabricante [6]

El caudal de operación se ve influenciado, además, por las propiedades físicas del purín, como la densidad y la viscosidad, que pueden variar significativamente en función del origen y del contenido en sólidos. Esta variabilidad introduce exigencias adicionales en el diseño hidráulico de los sistemas y en la capacidad de regulación del caudal.

3.2.8 REQUISITOS NORMATIVOS Y MEDIOAMBIENTALES

Actualmente, la regulación y el control de los sistemas de aplicación de purines se orientan hacia la implantación de técnicas de agricultura de precisión con el objetivo de cumplir la normativa medioambiental vigente (Real Decreto 1051/2022). Esta normativa prohíbe el uso de sistemas de aplicación superficial mediante plato, abanico o cañón, obligando a emplear

¹ Dato obtenido de *Técnicas recomendadas para la reducción de emisiones de amoníaco* del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [12].

sistemas de inyección localizada o aplicación por bandas, en consonancia con los resultados del estudio realizado [19].

En este contexto, se han establecido prohibiciones específicas para garantizar el cumplimiento normativo. Desde 2021, está prohibido el uso de platos, cañones o abanicos; asimismo, el purín debe ser enterrado o incorporado al suelo en un plazo máximo de entre 12 y 24 horas tras su aplicación. Por último, resulta obligatorio llevar un registro exhaustivo de la producción, gestión y aplicación de purines en las explotaciones agrícolas, especialmente en las zonas declaradas vulnerables a la contaminación por nitratos [19]. Asimismo, la evaluación técnica de estos equipos se apoya en la norma UNE-EN 13406:2003, que define criterios y métodos de ensayo para la distribución longitudinal y transversal de cisternas esparcidoras de purín [2].

3.2.9 COMPARATIVA TÉCNICA RESUMIDA

Con el fin de sintetizar la información obtenida en el estudio de mercado y facilitar su aplicación al diseño del banco de ensayos, se presenta a continuación una comparativa técnica de las cisternas de purines y de los sistemas de aplicación más representativos del mercado actual.

Dado que la configuración estructural de la cisterna y el sistema de aplicación constituyen elementos técnicamente diferenciados, el análisis se ha organizado en dos tablas independientes. La primera resume las características estructurales de las cisternas según su tipología, mientras que la segunda recoge los parámetros técnicos asociados a los principales sistemas de aplicación de purines.

Tipo de cisterna	Fabricantes que la ofrecen	Capacidad (m³)	Nº de ejes	Uso habitual
1 eje	Todos	3 - 10	1	Explotaciones pequeñas

Tándem	Todos	10 - 24	2	Explotaciones medianas
Trídem	Todos salvo Pichón y Beguer	18 - 30	3	Uso intensivo

Tabla 7. Comparativa estructural de cisternas de purines según su configuración

La comparativa estructural de las cisternas de purines permite identificar los rangos de capacidad y configuración más representativos del mercado actual. Estos valores ponen de manifiesto la diversidad de soluciones disponibles y sirven como referencia para definir las cargas, volúmenes y configuraciones que deberán contemplarse en el diseño del banco de ensayos, garantizando su representatividad respecto a las condiciones reales de uso.

Sistema de aplicación	Anchura de trabajo (m)	Nº de bocas	Caudal (m ³ /ha)	Reducción de NH ₃ (%)
Reja	2 - 9	4 - 19	25 - 50	30 - 60
Disco	3 - 8	14 - 48	12 - 30	70
Bandas	6 - 18	8 - 72	30 - 60	90

Tabla 8. Parámetros técnicos de los principales sistemas de aplicación de purines

El análisis comparativo de los sistemas de aplicación evidencia diferencias significativas en anchura de trabajo, número de salidas, dosis de aplicación y reducción de emisiones de amoníaco. Estas diferencias resultan determinantes para el planteamiento del banco de ensayos, que deberá ser capaz de evaluar el comportamiento de los distintos sistemas bajo rangos de operación y exigencias medioambientales claramente diferenciadas.

3.3 IMPLICACIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO PARA EL DISEÑO DEL BANCO DE ENSAYOS

Para asegurar la utilidad técnica y la validez de los ensayos, el diseño del banco debe estar basado en criterios generales de competencia técnica y control de condiciones de ensayo, tal y como se establece para instalaciones de ensayo y laboratorios:

- La norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 establece los requisitos generales para garantizar la competencia técnica en la realización de ensayos, haciendo hincapié en la definición de los métodos, el control de los equipos, la trazabilidad de las mediciones y la correcta gestión de los resultados. Aunque el banco de ensayos no se conciba como un laboratorio acreditado, su diseño debe asegurar condiciones de medición controladas y resultados técnicamente válidos y reproducibles, de acuerdo con los principios de la norma [4].
- La norma UNE-EN 13406:2003 establece los principios generales y métodos de ensayo aplicables a cisternas esparcidoras de purín, incluyendo criterios relacionados con la uniformidad de distribución longitudinal y transversal, parámetros fundamentales para el diseño funcional del banco de ensayos [2].
- En el contexto de instalaciones de ensayo agrícola, los requisitos de calidad contemplan detalles sobre la descripción de equipos, disposición de instalaciones y documentación de procedimientos, lo cual deberá ser tenido en cuenta al definir el banco para cisternas de purines [3].
- Otras consideraciones prácticas incluyen:
 - ✓ Modularidad y flexibilidad para adaptar el banco a distintos sistemas de aplicación (bandas, disco, reja).
 - ✓ Control y documentación de variables ambientales, como temperatura o humedad, para mejorar la repetibilidad de resultados.
 - ✓ Registro estructurado de procedimientos de ensayo, que incluya preparación, ejecución y análisis de datos en un sistema de calidad centralizado.

3.4 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO

El estudio de mercado realizado ha permitido caracterizar de manera estructurada el estado actual de las cisternas de purines, identificando los principales fabricantes, tipologías constructivas y sistemas de aplicación utilizados en el mercado. A partir del análisis de los parámetros técnicos más relevantes (configuración estructural, capacidades volumétricas, sistemas de distribución, anchura de trabajo, número de bocas, caudales de operación y eficiencia ambiental) se han definido rangos representativos que describen de manera fiel las condiciones reales de uso de este tipo de maquinaria.

Uno de los principales resultados del estudio es la constatación de la gran diversidad de configuraciones existentes, tanto a nivel de cisterna como de sistema de aplicación, lo que pone de manifiesto la necesidad de disponer de un banco de ensayos versátil y modular. Asimismo, el análisis pone de relieve que los sistemas de aplicación presentan diferencias significativas en términos de distribución, dosis de aplicación y reducción de emisiones de amoníaco, aspectos directamente condicionados por la normativa medioambiental vigente y que resultan clave para la evaluación técnica de los equipos.

En este sentido, el estudio de mercado es una base fundamental para el desarrollo del Trabajo de Fin de Grado, ya que permite traducir la oferta real del mercado en requisitos técnicos concretos para el diseño del banco de ensayos. Los rangos y conclusiones obtenidos servirán para dimensionar el banco, definir sus capacidades de operación y establecer los criterios de ensayo necesarios para evaluar de manera objetiva y reproducible el comportamiento de las cisternas de purines, garantizando que el diseño final sea representativo, técnicamente válido y alineado con las exigencias actuales del sector.

Capítulo 4. DISEÑO MECÁNICO DEL BANCO DE ENSAYOS

El presente capítulo recoge el diseño mecánico e hidráulico del banco de ensayos para cisternas de purines, partiendo de los requisitos establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas suscrito por la Estación de Mecánica Agrícola (en adelante EMA) [3] y de las exigencias derivadas de la norma UNE-EN 13406:2003 [2].

4.1 OBJETIVOS FUNCIONALES Y REQUISITOS TÉCNICOS DEL BANCO

Este apartado fija los objetivos funcionales que el banco de ensayos debe satisfacer, agrupa los requisitos técnicos globales del proyecto y describe la arquitectura general del conjunto, identificando los subsistemas del banco en su completo.

4.1.1 OBJETIVOS FUNCIONALES

El banco debe permitir a la EMA realizar ensayos sobre cualquier cisterna esparcidora sobre los dos procedimientos contemplados en la UNE-EN 13406:2003: ensayo de distribución longitudinal y ensayo de distribución transversal [2]. La realización fiable de ambos ensayos constituye el objetivo funcional del proyecto, ya que sin esta función no es posible emitir los certificados asociados al sistema de marcas de calidad regulado por el Real Decreto 448/2020 [1].

Además, el banco de ensayos debe garantizar buena fiabilidad de las medidas, facilitar el trabajo de los técnicos durante los ensayos y asegurar unas condiciones adecuadas de seguridad y respeto medioambiental, tal y como establece el Pliego de Prescripciones Técnicas [3]. Para ello, se incorpora un sistema de recirculación y filtrado de agua, así como elementos que faciliten el pesaje y manejo de las cubetas durante los ensayos.

Por otro lado, el diseño también busca que el banco sea modular y sencillo de mantener, utilizando componentes comerciales y elementos fácilmente sustituibles. Todo ello siguiendo los principios de trazabilidad y fiabilidad aplicados en los laboratorios de ensayo según la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 [4].

4.1.2 REQUISITOS TÉCNICOS GLOBALES

Los objetivos funcionales del banco de ensayos condicionan el diseño de la instalación. Estos requisitos se encuentran principalmente dentro del Pliego de Prescripciones Técnicas [3], de la norma UNE-EN 13406:2003 [2] y del estudio de mercado realizado en el Capítulo 3. , donde se analizaron las características de las cisternas esparcidoras actuales. La siguiente tabla sintetiza todos estos requisitos.

Subsistema	Magnitud	Valor / Especificación
Depósitos de agua	Capacidad conjunta	Hasta 20.000 L
Sistema de bombeo	Funcionalidad	Trasiego bidireccional colector ↔ depósitos ↔ cisterna
Caudalímetro	Rango	0 – 100 l/s
Caudalímetro	Frecuencia de muestreo	2 Hz
Caudalímetro	Resolución	Dos decimales
Caudalímetro	Tipo preferente	No invasivo (ultrasónico o equivalente)
Báscula / células	Rango	0 – 150 kg
Báscula / células	Resolución	Dos decimales

Cubetas	Número	60
Cubetas	Capacidad unitaria	100 L
Colector	Dimensiones	20 × 2 × 0,5 m
Seguridad eléctrica	Norma aplicable	EN 61010-1:2011
Estanqueidad	Condición	Resistente a salpicaduras y vertidos accidentales
Validación de resultados	Norma de referencia	UNE-EN 13406:2003

Tabla 9. Requisitos técnicos globales del banco de ensayos

Elaboración propia a partir de [2], [3]

A estos requisitos técnicos, el Pliego establece una serie de criterios generales relacionados con la seguridad, la protección medioambiental y la durabilidad del conjunto [3]. Estos criterios han condicionado tanto el diseño de los diferentes subsistemas como la selección de materiales y componentes utilizados en el banco de ensayos.

4.1.3 ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA Y SUBSISTEMAS PRINCIPALES

A partir de los objetivos funcionales y de los requisitos técnicos definidos anteriormente, el banco de ensayos se organiza en varios subsistemas principales interconectados entre sí. La relación entre ellos se representa en la Figura 2.

Los principales subsistemas que forman el banco de ensayos son los siguientes:

- **Subsistema de contención y recogida:** formado por el colector y las cubetas. Su función es recoger el agua descargada por la cisterna tanto en los ensayos longitudinales como transversales.

- **Subsistema mecánico de pesado:** compuesto por la grúa móvil, el mástil, las guías lineales y el soporte para la célula de carga. Permite elevar y pesar las cubetas de forma segura y sencilla, evitando el manejo manual de cargas.
- **Subsistema hidráulico de trasiego:** integrado por la bomba, el filtro, la válvula de control y la red de tuberías. Se encarga de la recirculación del agua entre el colector, los depósitos y la cisterna de ensayo.
- **Subsistema de almacenamiento:** formado por el depósito de agua utilizados para alimentar el sistema y almacenar el agua recirculada.
- **Subsistema de seguridad y protecciones colectivas:** incluye los elementos destinados a reducir riesgos durante el funcionamiento del banco, como postes de delimitación, cadenas de protección, superficies antideslizantes y protecciones del colector.
- **Subsistema de instrumentación y adquisición de datos:** formado por el caudalímetro, células de carga y adquisición y procesado de datos. Este subsistema permite registrar y procesar las medidas obtenidas durante los ensayos.

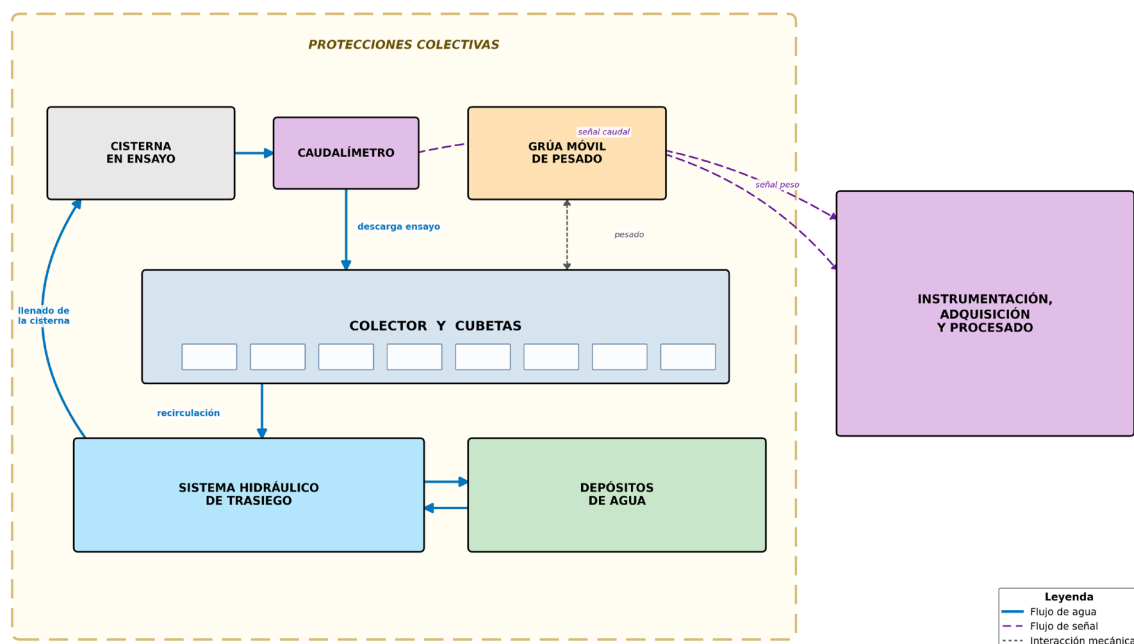


Figura 2. Diagrama de bloques de la arquitectura general del banco de ensayos

4.2 DISEÑO DEL COLECTOR

El colector es uno de los elementos principales del banco de ensayos, ya que permite realizar los ensayos de distribución longitudinal y transversal definidos en la norma UNE-EN 13406:2003 [2]. Durante los ensayos transversales aloja las 60 cubetas de recogida, mientras que en los longitudinales recoge directamente el caudal descargado por la cisterna.

4.2.1 DIMENSIONES Y GEOMETRÍA

El colector se diseña como un foso enterrado de planta rectangular y sección uniforme, con unas dimensiones de 20m de longitud, 2m de anchura y 0,5m de profundidad, además de una pendiente longitudinal hacia la canaleta del 0,5%, tal y como establece el Pliego de Prescripciones Técnicas [3]. Estas dimensiones permiten alojar las 60 cubetas utilizadas durante los ensayos de distribución transversal y garantizar un espacio suficiente para las operaciones de pesaje y manipulación.

La geometría rectangular facilita además la recogida del agua en los ensayos longitudinales y simplifica tanto la distribución de las cubetas como la integración del sistema de desagüe y recirculación del agua.

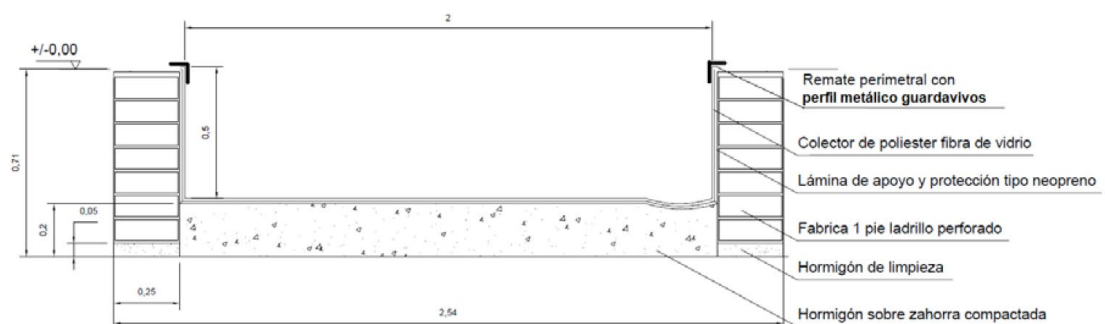


Figura 3. Sección transversal del colector

4.2.2 IMPERMEABILIZACIÓN Y ACABADO INTERIOR

El colector debe garantizar la estanqueidad frente a fugas y facilitar las tareas de limpieza y mantenimiento tras los ensayos [3]. Para ello, sobre las paredes y la losa de hormigón del foso se aplica un revestimiento interior compuesto por dos capas de fibra de vidrio tipo MAT 450 con resina de poliéster, acabado mediante pintura tipo gel Top Coat náutica. Esta solución proporciona una superficie continua, impermeable y resistente al agua y a los residuos generados durante los ensayos.

Además, el acabado interior debe permitir el tránsito seguro de los operarios durante la colocación y el vaciado de las cubetas. Por este motivo, en la zona pisable del colector se instalan losetas antideslizantes tipo “charnaque”, mejorando el agarre sin comprometer la impermeabilización del conjunto. Al tratarse de un revestimiento independiente de la estructura de hormigón, su mantenimiento y sustitución puede realizarse sin intervenir sobre la obra civil.

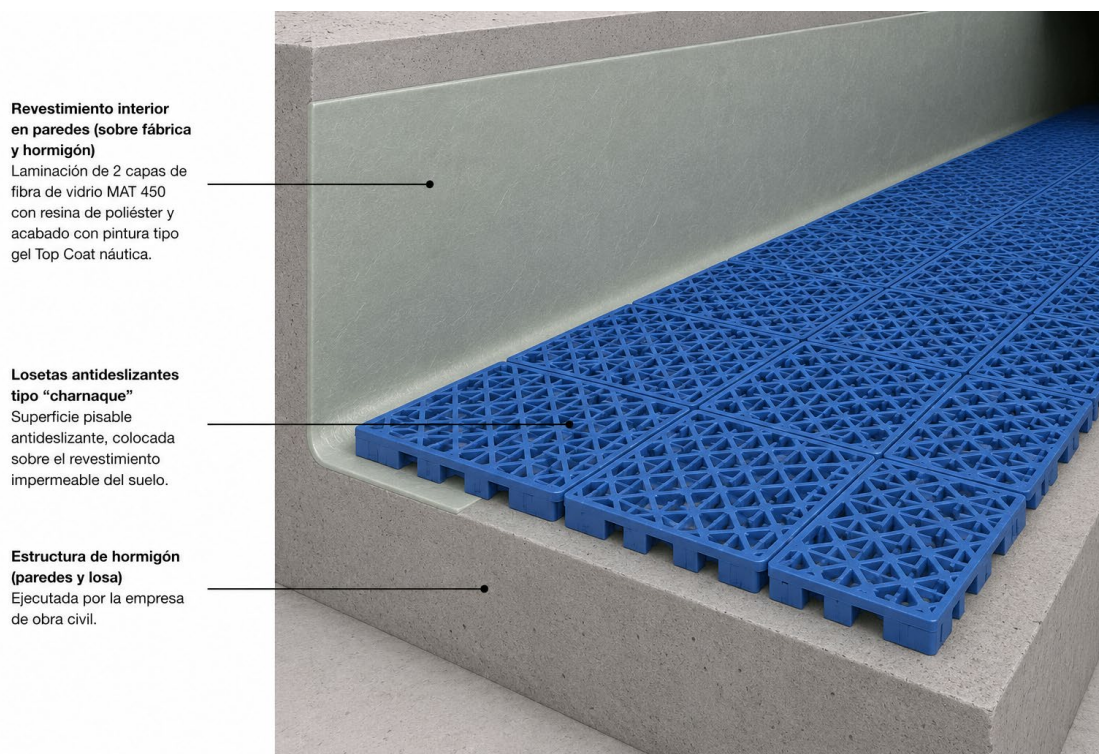


Figura 4. Revestimiento interior del colector y losetas antideslizantes tipo “charnaque”

4.2.3 SISTEMA DE DESAGÜE Y CANALETA

El agua recogida en el colector procede de la descarga directa de la cisterna durante el ensayo longitudinal y del vaciado de las cubetas tras el ensayo transversal. En ambos casos, debe conducirse hacia el sistema hidráulico de trasiego para su filtración y posterior retorno a los depósitos de almacenamiento [3].

Para facilitar esta evacuación, la losa de fondo del colector se diseña con una pendiente longitudinal del 0,5%, dirigida hacia una canaleta de desagüe situada en ambos extremos. Esta canaleta recoge el agua acumulada y la conduce hasta la arqueta de aspiración de la bomba, donde se inicia el proceso de recirculación del agua del sistema. Esta solución permite evitar muchas acumulaciones de agua en el interior del colector y facilitar las tareas de limpieza y mantenimiento del banco.

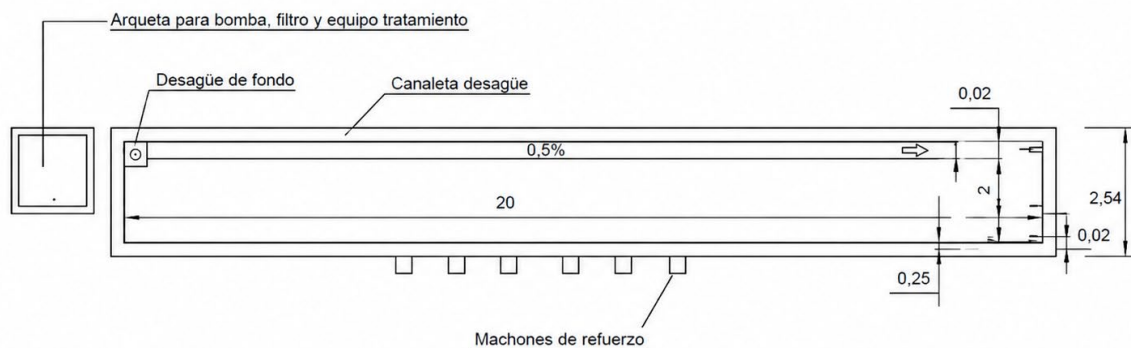


Figura 5. Planta del foso colector con canaleta de desagüe y arqueta de aspiración

4.2.4 TAPA DEL COLECTOR

Cuando el banco no se encuentra en uso, el colector debe permanecer cerrado para evitar la entrada de suciedad, agua u objetos extraños, así como para reducir el riesgo de caída accidental al interior del foso [3]. Para ello, se emplean chapas rígidas de cubrimiento de 2 x 2 m, que permiten cubrir la longitud total del colector mediante módulos independientes colocados en serie.

Cada chapa dispone de orificios para facilitar su elevación y desplazamiento mediante carretilla de uñas, evitando así la manipulación manual de elementos pesados. Esta solución permite disponer de una tapa rígida, desplazable y modular, conforme lo indicado en el Pliego de Prescripciones Técnicas, y facilita la sustitución individual de las chapas en caso de desgaste o deterioro [3].

4.2.5 PROTECCIÓN DE CORONACIÓN

La esquina superior del colector, situada entre la pared de contención y el suelo firme exterior, queda expuesta a golpes y rozamientos durante la colocación y retirada de las chapas de recubrimiento. Por este motivo, se descarta el uso de materiales cerámicos, ya que podrían romperse con facilidad y deteriorar la zona superior del colector.

En su lugar, se montará una sujeción metálica continua tipo guardavivos, fijada sobre la coronación del muro. Esta pieza protege el revestimiento interior, el remate de la pared y la zona de apoyo de las chapas, aumentando la durabilidad del conjunto. Además, esta solución se complementa con protecciones colectivas descritas en el apartado 4.7, destinadas a delimitar la zona de ensayo y reducir el riesgo de caída accidental al interior del colector.

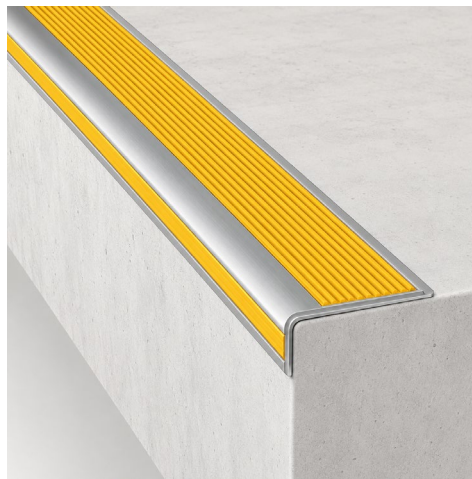


Figura 6. Detalle de protección metálica tipo guardavivos para el remate superior del colector

4.3 DISEÑO DE CUBETAS

Las cubetas son los recipientes encargados de recoger el caudal descargado por cada boquilla del distribuidor durante los ensayos de distribución transversal. La norma UNE-EN 13406:2003 establece que debe colocarse una cubeta bajo cada salida del distribuidor sin interferencias entre recipientes contiguos [2]. Para cumplir este requisito, el Pliego de Prescripciones Técnicas fija un total de 60 cubetas con una capacidad unitaria de 100 L [3].

Además de garantizar la recogida del purín, las cubetas permiten su manipulación y pesaje de forma segura y operativa. Por este motivo, se diseñan transportables mediante carretilla elevadora y disponen de elementos compatibles con el sistema de pesado desarrollado en el 4.4.

4.3.1 DIMENSIONES Y CAPACIDAD

Las dimensiones de las cubetas vienen determinadas por la separación entre boquillas del distribuidor y por la capacidad unitaria de 100 L establecida en el Pliego de Prescripciones Técnicas [3]. A partir de las configuraciones habituales en los distribuidores analizados en el Capítulo 3. , se adopta una anchura de 200 mm, compatible con la colocación de una bajo cada salida sin interferencias entre recipientes contiguos.

Manteniendo una altura de 500 mm, se obtiene una longitud aproximada de 1000 mm para alcanzar el volumen requerido. Además, se adopta un espesor de 3 mm, suficiente para garantizar la rigidez de conjunto y permitir el acoplamiento seguro de la cubeta con las ranuras a la barra de elevación utilizada durante las operaciones de pesaje.

La geometría rectangular adoptada facilita tanto la recogida del fluido como la manipulación del pesaje de las cubetas durante los ensayos. El conjunto de 60 cubetas ocupa aproximadamente 12 m de longitud útil del colector, compatibles con las dimensiones de este.

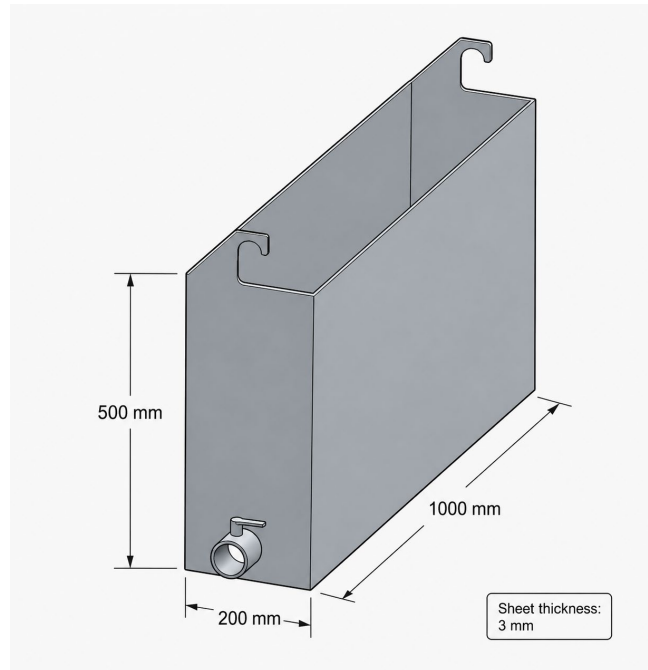


Figura 7. Modelo 3D de la cubeta de ensayo con dimensiones principales

4.3.2 MATERIAL Y PROCESO DE FABRICACIÓN

Las cubetas deben resistir al contacto con el agua del ensayo y con los restos de purín, además de soportar las operaciones repetidas de elevación, transporte y vaciado. Por ello, se utilizará el acero inoxidable como material de fabricación, al ofrecer una gran resistencia a la corrosión, buena durabilidad frente al uso repetido y facilidad de limpieza en los ensayos.

Cada cubeta se realiza a partir de una chapa de 3 mm de espesor, conformado mediante plegado y unida por soldadura en las aristas. Esta solución permite un recipiente rígido, compacto y sin uniones atornilladas, reduciendo el riesgo de fugas y facilitando su limpieza después de cada ensayo. El acabado interior se mantiene liso para evitar la acumulación de residuos y favorecer el vaciado de la cubeta.

4.3.3 SISTEMA DE VACIADO

Una vez realizado el pesaje, la cubeta debe vaciarse de forma controlada hacia el colector, evitando que el operario tenga que manipular o inclinar manualmente el recipiente lleno [3].

Para ello se incorporan dos grifos en la parte inferior de la cubeta, situados en cada extremo, de manera que el vaciado pueda realizarse por cualquiera de los lados según la posición tanto de la cubeta como del operario dentro del colector.

En el fondo de la cubeta se diseña con una ligera caída hacia los grifos, favoreciendo el vaciado completo y evitando la acumulación de agua o residuos en el interior. Esta solución permite reducir errores en los ensayos posteriores, ya que impide que se quede masa retenida de la medición anterior.

4.3.4 ELEMENTOS DE ELEVACIÓN

Cada cubeta incorpora dos cáncamos situados en los extremos, diseñados para soportar la masa del conjunto formado por la cubeta y el agua recogida durante el ensayo. Su posición centrada respecto al ancho de la cubeta permite que el brazo de elevación trabaje alineado con el plano del centro de gravedad, evitando inclinaciones durante la elevación.

Esta disposición mejora la seguridad de la maniobra y favorece el pesaje sea repetible, ya que reduce el riesgo de balanceo o derrame del contenido. Además, la geometría simétrica de la cubeta permite mantener el centro de gravedad en una posición estable, independientemente del nivel de llenado, facilitando su manipulación tanto con la grúa móvil como con otros medios previstos para el transporte general de las cubetas [3].

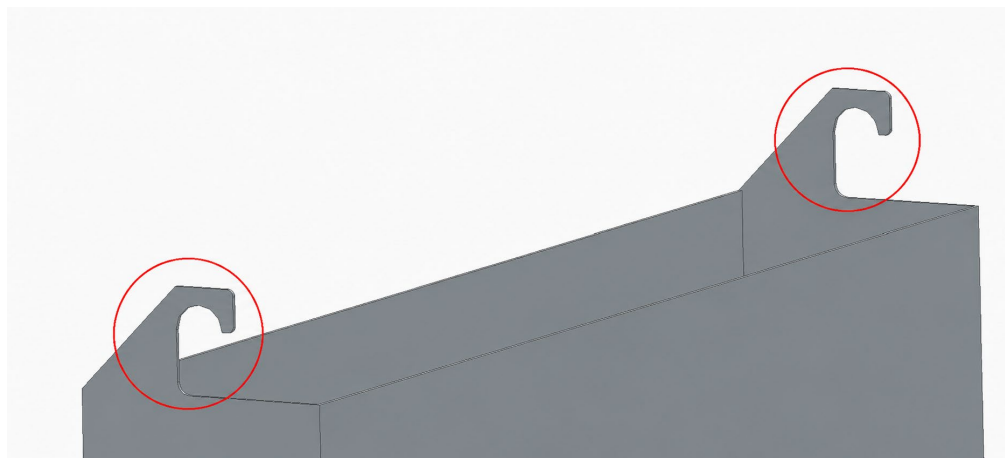


Figura 8. Detalle de los elementos de elevación de la cubeta

4.4 ESTRUCTURA MECÁNICA DEL SISTEMA DE PESADO

El sistema de pesado permite determinar la masa de la cubeta tras el ensayo de distribución transversal, evitando la manipulación manual del recipiente lleno y reduciendo la intervención del operario [3]. Esta solución es necesaria para garantizar una operación segura y repetible, especialmente teniendo en cuenta que el banco dispone de 60 cubetas de 100 L y que el pesaje debe realizarse de forma ordenada a lo largo del colector.

Para ello, se adopta una estructura de grúa móvil guiada sobre carriles, capaz de desplazarse longitudinalmente sobre el colector y posicionarse frente a la cubeta. El sistema está formado por el bastidor móvil, el mástil de elevación con actuador, las guías lineales de posicionamiento y el soporte intercambiable de la célula de carga. En este apartado se describe únicamente la parte mecánica del sistema.

4.4.1 GRÚA MÓVIL Y BASTIDOR

El bastidor inferior constituye la base móvil del sistema de pesado y permite desplazar el conjunto a lo largo del colector. Está formado por largueros longitudinales, un marco inferior de unión y cuatro conjuntos de rueda, apoyados sobre redondos de acero impregnados en el suelo a ambos lados del colector. Esta solución guía el movimiento de la grúa en el sentido longitudinal y transversal, y evita desplazamientos laterales durante la maniobra.

Gracias a este sistema, el bastidor puede recorrer toda la longitud del colector y posicionar el mástil sobre cualquiera de las 60 cubetas. De esta forma, el pesaje se realiza en la propia zona de ensayo, sin necesidad de trasladar manualmente recipientes llenos. El detalle constructivo del conjunto se recoge en los planos del ANEXO II – Planos de Conjunto y Subconjunto

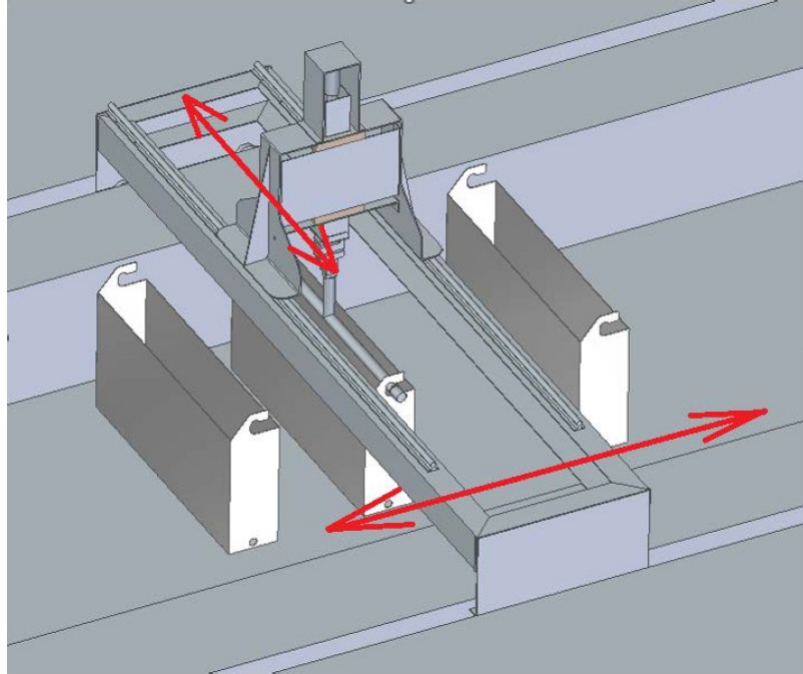


Figura 9. Desplazamiento longitudinal del bastidor y ajuste transversal del conjunto superior de pesado

4.4.2 MÁSTIL Y SISTEMA DE ELEVACIÓN

Sobre el bastidor móvil se dispone el conjunto superior de la grúa, reforzado mediante cartelas para aportar rigidez durante las operaciones de elevación. En el interior de este conjunto se encuentra el mástil vertical, encargado de guiar el movimiento de subida y bajada de las cubetas durante el pesaje.

El movimiento vertical se realiza mediante un actuador eléctrico de baja velocidad, lo que permite elevar las cubetas de forma controlada y reducir las cargas dinámicas que podrían afectar a la medida de la célula de carga. En la parte interior se incorpora una barra de elevación con rebajes, diseñada para encajar con los elementos de elevación de las cubetas. Esta geometría permite levantar cada cubeta desde una posición centrada, evitando inclinaciones durante la maniobra y favoreciendo un pesaje más estable y repetible [3].

4.4.3 GUÍAS LINEALES Y DESPLAZAMIENTO

El bastidor móvil permite el desplazamiento longitudinal de la grúa a lo largo del colector. Sin embargo, para colocar el útil de elevación exactamente encima de la cubeta, es necesario incorporar también un ajuste transversal. Para ello, el conjunto de la parte superior se monta sobre unos patines que deslizan sobre dos guías lineales dispuestas perpendicularmente al eje del colector.

La combinación de ambos movimientos permite posicionar el sistema de elevación sobre cualquier cubeta: el bastidor realiza el avance longitudinal y las guías lineales permiten el ajuste transversal final. Esta solución facilita el alineamiento del útil con el centro de gravedad de la cubeta, mejora la estabilidad durante el pesaje y reduce la necesidad de maniobras manuales por parte del operario. La ficha técnica de las guías lineales seleccionadas se encuentra en el ANEXO V – Fichas Técnicas de Equipos.

4.4.4 SOPORTE INTERCAMBIABLE DE CÉLULA DE CARGA

La célula de carga se monta y se desmonta sobre una placa porta célula fijada al mástil mediante cuatro tornillos. Esta solución permite sustituir de forma sencilla el soporte y adaptar la célula instalada al rango de masa requerido en cada ensayo, manteniendo una unión rígida y desmontable.

La placa célula actúa como interfaz entre la estructura de pesado y el sistema de medida. Su fijación simétrica facilita que la posición de montaje sea repetible tras cada cambio, evitando desplazamientos que puedan afectar a la medición.

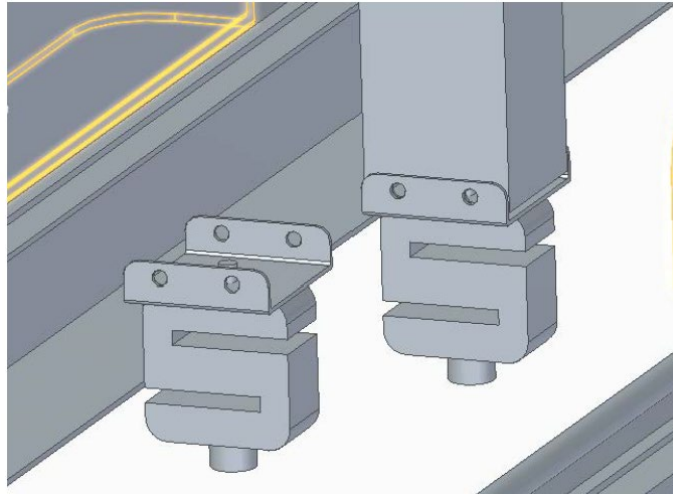


Figura 10. Detalle del sistema de fijación intercambiable de las células de carga

4.4.5 SECUENCIA OPERATIVA DE PESAJE

La operación de pesaje se realiza sobre cada una de las 60 cubetas siguiendo la misma secuencia. Los pasos son los siguientes:

Paso 1. Posicionamiento longitudinal. Con el colector destapado y las cubetas en su posición indicada, el operario desplaza la grúa móvil sobre los carriles longitudinales hasta situarla sobre la primera cubeta a pesar.

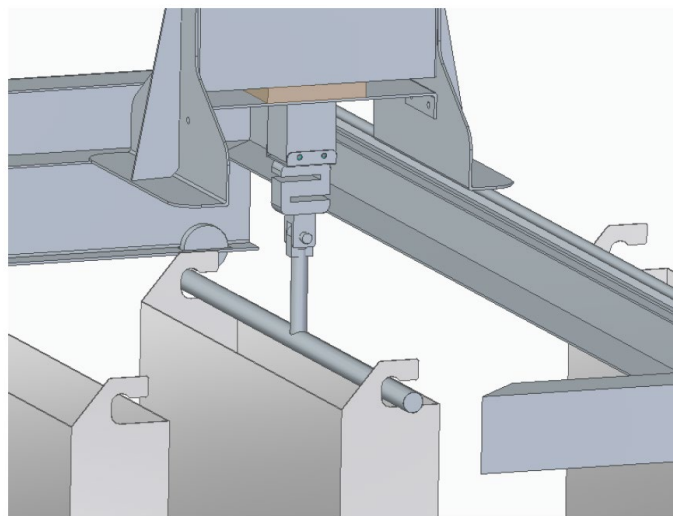


Figura 11. Configuración general del banco con la grúa móvil

Paso 2. Encaje sobre los cáncamos. Mediante el conjunto articulado patín-barra, se ajusta la posición transversal hasta hacer coincidir los rebajes de la barra de elevación con los cáncamos de la cubeta.

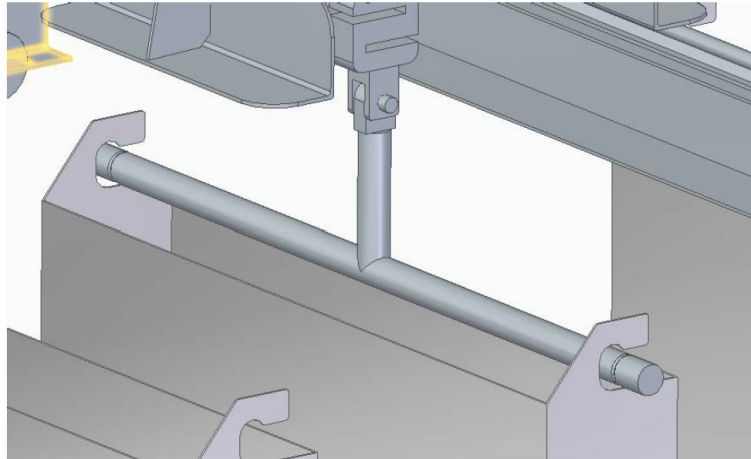


Figura 12. Detalle de los rebajes de la barra de elevación encajados sobre los cáncamos de la cubeta

Paso 3. Elevación. El actuador eléctrico de baja velocidad asciende la barra hasta encajar con los encajes de los cáncamos y a continuación eleva la cubeta hasta separarla del fondo del colector.

Paso 4. Lectura de la masa. Con la cubeta suspendida y estabilizada, la célula registra el peso. El operario valida la lectura en el software de adquisición y la asocia al número de la cubeta correspondiente.

Paso 5. Descenso y vaciado. El actuador desciende la cubeta hasta la posición original y se libera la barra de elevación de los cáncamos. A continuación, el operario abre uno de los grifos de la cubeta para evacuar el agua.

Paso 6. Avance a la siguiente cubeta. El conjunto se desplaza longitudinalmente hasta la cubeta contigua y la secuencia se repite.

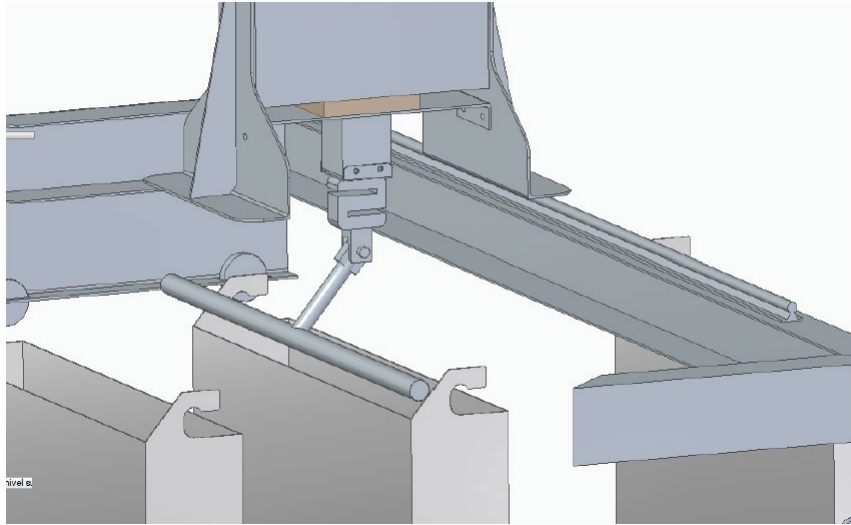


Figura 13. Transición entre dos cubetas consecutivas

4.5 SISTEMA DE BOMBEO Y TRASIEGO

El sistema de bombeo y trasiego permite mover el agua entre el colector, los depósitos de almacenamiento y la cisterna de ensayo. Su función principal es recuperar el agua en el colector tras los ensayos, filtrarla y devolverla a los depósitos, además de impulsarla de nuevo hacia la cisterna cuando sea necesario iniciar un nuevo ciclo de medida [3].

La solución adoptada se basa en equipos estándar de depuración de piscinas, como bomba centrífuga, filtro de arena, válvula y dosificador de cloro. Esta elección facilita el mantenimiento del sistema, garantiza la disponibilidad de repuestos y permite conservar las condiciones adecuadas durante estado de inactividad, evitando formación de algas y microorganismos.

4.5.1 BOMBA CENTRÍFUGA Y FILTRO

El sistema se basa en una bomba centrífuga situada en la caseta de bombeo, junto con el filtro y los elementos de control del circuito hidráulico. La instalación permite trabajar con dos líneas de aspiración: una conectada al colector, para recuperar el agua tras los ensayos,

y otra conectada a los depósitos, para realizar operaciones de recirculación y mantenimiento del agua almacenada [3].

El filtro de arena se dispone en serie con la bomba durante las operaciones de depuración. Su función es retener las partículas en suspensión que puedan proceder del colector o de los propios depósitos, garantizando que el agua impulsada hacia la cisterna o devuelta al almacenamiento se mantenga filtrada y en condiciones adecuadas para su reutilización.



Figura 14. Conjunto de bombeo y filtración empleado en el sistema de trasiego

4.5.2 VÁLVULA DE SEIS POSICIONES

El control del circuito hidráulico se realiza mediante una válvula multivía de seis posiciones instalada en la caseta de bombeo. Esta válvula permite seleccionar el modo de funcionamiento del sistema según la operación requerida mostradas en la siguiente Tabla [3].

Posición	Modo de operación
Filtrado	Depuración del agua mediante paso por el filtro de arena
Recirculación	Recirculación del agua sin paso por el filtro
Lavado	Inversión del flujo a través del filtro para arrastre de sólidos retenidos
Enjuagado	Enjuague del filtro tras la operación de lavado
Vaciado	Evacuación del agua del sistema hacia la red de alcantarillado
Cerrado	Aislamiento del circuito

Tabla 10. Modos de operación de la válvula de seis posiciones

Esta solución simplifica la operación del banco, ya que concentra en un único elemento el control de los principales modos de trabajo del sistema de bombeo. De este modo, se reducen las maniobras necesarias, se facilita el mantenimiento del filtro de arena y se permite adaptar el circuito tanto a los ensayos como a las operaciones de conservación del agua almacenada.



Figura 15. Válvula de seis posiciones del sistema de bombeo

4.5.3 ESQUEMA DE PRINCIPIO DE LA INSTALACIÓN

Los elementos principales del sistema hidráulico se conectan mediante tuberías de PVC rígido de 50 mm, adecuadas para el circuito de trasiego previsto [3]. La conexión con la

cisterna se realiza mediante una manguera flexible de sección equivalente, ya que se trata de una unión temporal y debe adaptarse a distintas bocas de carga según el modelo ensayado.

El esquema de principio de la instalación se muestra en la siguiente Figura y se desarrolla con mayor detalle en el Esquema Hidráulico del ANEXO III – Esquemas Hidráulicos. En él se distinguen las aspiraciones desde el colector y desde los depósitos, la impulsión hacia la cisterna o hacia los propios depósitos, la conexión de vaciado a la red de alcantarillado y la posición del sistema de cloración. La configuración adoptada garantiza que el agua impulsada hacia la cisterna o recirculada hacia los depósitos pase previamente por el filtro, manteniendo unas condiciones adecuadas de limpieza durante el uso del banco.

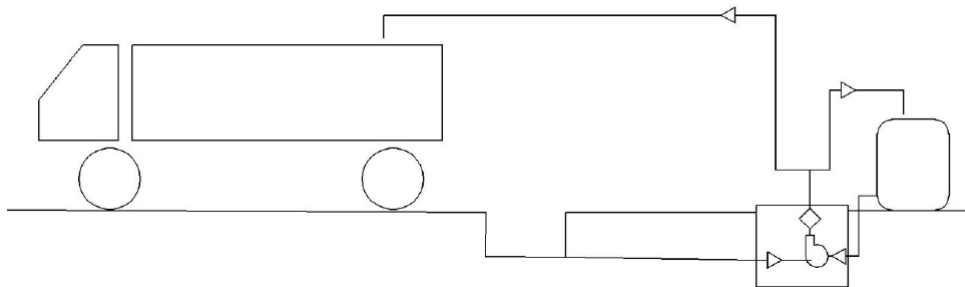


Figura 16. Esquema de principio del sistema hidráulico de bombeo y trasiego

4.5.4 SISTEMA DE DEPURACIÓN Y CLORACIÓN

Para evitar la formación de algas y microorganismos en el agua almacenada en los depósitos, el sistema incorpora un dosificador de cloro conectado al circuito de recirculación [3]. Este elemento permite mantener unas condiciones adecuadas de conservación del agua durante los periodos de inactividad del banco, reduciendo el deterioro del fluido utilizado en los ensayos.

El sistema de cloración trabaja juntamente con el filtro de arena, formando el subsistema de depuración del banco. Mientras el filtro retiene las partículas en suspensión, el dosificador mantiene el tratamiento químico del agua, permitiendo reutilizarla en ensayos posteriores reduciendo la renovación del fluido,



Figura 17. Dosificador de cloro integrado en el sistema de depuración del banco

4.6 DEPÓSITOS DE AGUA

El depósito de agua constituye el sistema de almacenamiento de agua del banco de ensayos. Su función es almacenar el fluido utilizado durante las pruebas y recibir el agua recirculada desde el colector tras la finalización de los ensayos. El Pliego de Prescripciones Técnicas establece una capacidad conjunta máxima de 20.000 litros [3], suficiente para alimentar los distintos ciclos de ensayo previstos.

Además de su función de almacenamiento, los depósitos deben garantizar unas condiciones adecuadas de conservación del agua durante los periodos de uso e inactividad del banco. Para ello, el sistema incorpora las operaciones de filtración y cloración descritas en el 4.5.4, evitando la formación de algas, microorganismos y acumulaciones de residuos en el interior de los depósitos [3].

4.6.1 CAPACIDAD Y CONFIGURACIÓN

El sistema de almacenamiento se resuelve mediante un único depósito cilíndrico de base plana con capacidad de 20.000 L, equipado con boca de hombre para facilitar las operaciones de limpieza y mantenimiento [3]. La elección de una sola unidad permite reducir el coste de

instalación y simplificar el circuito hidráulico, evitando duplicar conexiones, válvulas y ramales de aspiración y retorno.

La configuración de base plana facilita además el apoyo directo sobre la solera, sin necesidad de estructuras auxiliares específicas. El depósito se fabrica habitualmente en polietileno o poliéster reforzado con fibra de vidrio, materiales adecuados para el almacenamiento prolongado de agua y resistentes a la corrosión.



Figura 18. Depósito de 20.000 L utilizado para el almacenamiento de agua del banco de ensayos

4.6.2 INSTALACIÓN Y CONEXIONADO

El depósito se instala próximo a la caseta de bombeo, reduciendo la longitud de tubería necesaria entre el sistema de almacenamiento y la bomba. La conexión hidráulica se realiza mediante un ramal de aspiración y otro de retorno, integrados en el circuito general del sistema de trasiego.

La conexión se ejecuta mediante tubería de PVC rígido de 50 mm, en continuidad con la red hidráulica. La boca de hombre situada en la parte superior del depósito permite realizar inspecciones visuales y operaciones de limpieza o mantenimiento del interior. La disposición general del depósito dentro del banco puede observarse en el Esquema Hidráulico del ANEXO III – Esquemas Hidráulicos.

4.7 PROTECCIONES COLECTIVAS Y SEGURIDAD

El banco de ensayos integra elementos mecánicos móviles, cargas suspendidas, agua y equipos eléctricos en una misma zona de trabajo, por lo que resulta necesario incorporar medidas de seguridad desde la propia fase de diseño. El Pliego de Prescripciones Técnicas exige el cumplimiento de la normativa vigente en prevención de riesgos laborales y la consideración de los riesgos asociados a la operación del banco [3].

Para ello, el diseño incorpora distintas protecciones colectivas destinadas a reducir el riesgo de accidente durante los ensayos y las tareas de mantenimiento. Entre ellas se incluyen la delimitación de la zona del colector mediante postes y cadenas, la instalación de superficies antideslizantes en las zonas pisables, la protección de coronación mediante perfiles metálicos tipo guardavivos y las medidas de seguridad eléctrica asociadas al sistema de bombeo y a la instrumentación. Estas soluciones permiten mejorar la seguridad de los operarios y reducir los riesgos derivados de caídas, resbalones, contactos eléctricos o manipulación de cargas durante el funcionamiento del banco [3][21].

4.7.1 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS PRINCIPALES

Los principales riesgos asociados al funcionamiento del banco pueden agruparse en varias categorías. El más relevante es el riesgo de caída al interior del colector durante los ensayos, ya que las chapas de cubrimiento deben retirarse para la colocación y manipulación de las cubetas. A ello se suma el riesgo asociado al manejo de cargas suspendidas durante las operaciones de pesado, debido a la elevación de cubetas llenas mediante la grúa móvil.

También deben considerarse los resbalones producidos por la presencia de agua en el interior del colector, reducidos mediante las superficies antideslizantes, así como los impactos y desgastes en la coronación del muro provocados por la manipulación repetida de las chapas de cierre, mitigados mediante la protección metálica. Finalmente, la coexistencia de agua y equipos eléctricos hace necesario incorporar medidas específicas de protección frente a riesgos eléctricos.

4.7.2 POSTES, CADENAS Y DELIMITACIÓN DEL COLECTOR

La protección frente a caídas al interior del colector se realiza mediante un sistema de delimitación formado por postes verticales y cadenas de seguridad dispuestas alrededor del perímetro del foso. Los postes se fijan en alojamientos embebidos en el firme, lo que permite retirarlos temporalmente durante las operaciones de acceso o posicionamiento de la cisterna y volver a colocarlos durante la ejecución de los ensayos.



Figura 19. Postes de seguridad para delimitación del colector

4.7.3 CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN SEGURIDAD

El diseño del banco se ha desarrollado teniendo en cuenta la normativa vigente en prevención de riesgos laborales, especialmente la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales [21] y el Real Decreto 39/1997, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención [22]. A partir de esta normativa se incorporan criterios de prevención desde la fase de diseño, priorizando las protecciones colectivas y la reducción de riesgos en origen.

De acuerdo con el Pliego de Prescripciones Técnicas, el contratista deberá realizar una evaluación formal de riesgos laborales que contemple las distintas fases de utilización del banco y definir las medidas preventivas necesarias para garantizar la seguridad de los operarios [3].

4.7.4 SEGURIDAD ELÉCTRICA

La presencia simultánea de agua, equipos eléctricos e instrumentación de medida hace necesario incorporar medidas específicas de protección eléctrica en el banco de ensayos. El Pliego de Prescripciones Técnicas establece como referencia la norma EN 61010-1:2011, aplicable a equipos eléctricos utilizados en entornos de medida y laboratorio [3].

Para garantizar la seguridad de la instalación, el sistema incorpora protección diferencial en los circuitos de potencia, puesta a tierra de las estructuras metálicas y cuadros eléctricos preparados para resistir salpicaduras y condiciones de humedad propias de la zona de ensayo. Además, se prevén dispositivos de parada de emergencia accesibles desde el área de trabajo, permitiendo desconectar rápidamente el sistema en caso de incidencia. El detalle completo de la instalación eléctrica se desarrolla en el ANEXO IV – Esquemas Eléctricos y en el Capítulo 6.

4.8 CONSIDERACIONES DE OBRA CIVIL

La instalación del banco de ensayos requiere una obra civil previa, asociada a la ejecución del colector enterrado, la canaleta de desagüe, la base de apoyo de los depósitos y la adecuación general de la zona de ensayo. Estos elementos son necesarios para permitir la recogida, evacuación y recirculación del fluido durante los ensayos.

No obstante, la ejecución material de la obra civil no forma parte del alcance del presente proyecto. En esta memoria se definen únicamente las necesidades funcionales y geométricas que debe cumplir dicha infraestructura para integrar correctamente el banco, quedando fuera del alcance su ejecución y dimensionamiento constructivo detallado.

Capítulo 5. SISTEMA DE MEDICIÓN, ADQUISICIÓN DE DATOS Y VALIDACIÓN

El presente capítulo desarrolla la cadena de medida del banco de ensayos, formada por los sensores, equipos de adquisición y cálculos encargados de transformar las magnitudes físicas registradas durante el ensayo en parámetros evaluables conforme a la norma UNE-EN 13406:2003 [2]. Mientras que el Capítulo 4. se ha centrado en los subsistemas mecánicos e hidráulicos del banco, este capítulo aborda el subsistema de instrumentación y adquisición de datos exigido por el Pliego de Prescripciones Técnicas [3].

La estructura del capítulo sigue el flujo natural de la información dentro del sistema. En primer lugar, se describen el caudalímetro y las células de carga empleados en los ensayos longitudinales y transversales. Posteriormente, se desarrolla el sistema de adquisición de datos y el software encargado del registro y tratamiento de las señales. Finalmente, se presenta la formulación matemática utilizada para calcular los parámetros definidos por la norma, junto con un ensayo simulado que permite validar el funcionamiento de toda la cadena de medida.

5.1 SELECCIÓN Y ESPECIFICACIONES DEL CAUDALÍMETRO

La medición continua del caudal de salida de la cisterna es uno de los elementos principales del ensayo de distribución longitudinal definido en la norma UNE-EN 13406:2003 [2]. Este ensayo requiere registrar el caudal instantáneo durante toda la descarga para determinar el caudal característico y verificar que las variaciones de caudal se mantienen dentro de la zona de tolerancia establecida por la norma.

El Pliego de Prescripciones Técnicas establece para este equipo un rango de medida entre 0 y 100 l/s, frecuencia mínima de adquisición de 2 Hz y resolución de dos decimales [3]. A partir de estos requisitos se ha seleccionado un caudalímetro electromagnético Siemens de la serie Sitrans FM, cuyas características y justificación técnica se desarrollan en los apartados siguientes. Las especificaciones completas del equipo se incluyen en el ANEXO V – Fichas Técnicas de Equipos.

5.1.1 CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO SIEMENS SITRANS FM

Para la medición del caudal de salida de la cisterna se ha seleccionado un caudalímetro electromagnético Siemens Sitrans FM, diseñado para aplicaciones de agua y aguas residuales. Al no disponer de elementos móviles ni obstáculos en el interior, el equipo apenas genera pérdidas de carga ni altera el flujo durante la descarga, lo que permite obtener medidas más fiables durante el ensayo.

La precisión del equipo es aproximadamente del $\pm 0,5$ % del valor medido, cumpliendo los requisitos establecidos por la norma UNE-EN 13406:2003 [2] y por el Pliego de Prescripciones Técnicas [3]. El modelo seleccionado corresponde a un Siemens FM520 DN65, con un rango de trabajo entre 10.000 y 50.000 l/h y errores inferiores al 0,508 % en todo el rango de medida. Además, el sistema incorpora distintos acoplamientos y tramos rectos para adaptarse a las diferentes salidas de las cisternas y estabilizar el flujo durante la medición.



Figura 20. Caudalímetro electromagnético Siemens Sitrans FM

5.1.2 ESPECIFICACIONES METROLÓGICAS

El caudalímetro seleccionado cumple los requisitos establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas [3], con una precisión aproximada del $\pm 0,5$ % del valor medido y una resolución de 0,01 l/s. La frecuencia de adquisición se ha fijado en 2 Hz, valor suficiente para registrar correctamente la evolución del caudal durante la descarga de la cisterna sin sobrecargar el sistema de adquisición.

Para garantizar medidas estables, el caudalímetro se instala con tramos rectos antes y después del sensor, evitando perturbaciones causadas por codos o accesorios próximos. Además, la señal analógica de 4–20 mA se transmite mediante cable apantallado hasta el armario de adquisición de datos, reduciendo posibles interferencias eléctricas durante el ensayo.

5.2 SISTEMA DE PESADO Y CÉLULAS DE CARGA

El segundo sistema de medida del banco es el sistema de pesado, encargado de determinar la masa de agua recogida en cada cubeta durante el ensayo de distribución transversal definido en la norma UNE-EN 13406:2003 [2]. A partir de estas medidas se calculan los parámetros para evaluar la calidad de la distribución de la cisterna, por lo que la precisión y repetibilidad del sistema resultan fundamentales para garantizar la validez del ensayo.

El Pliego de Prescripciones Técnicas establece para este subsistema un rango de medida entre 0 y 150 kg, resolución de dos decimales y un procedimiento de pesado que minimice la manipulación manual por parte del operario [3]. Para cumplir estos requisitos se ha seleccionado un sistema basado en una célula de carga tipo S suspendida de la grúa móvil, permitiendo elevar, pesar y vaciar las cubetas de forma sencilla y segura. La célula de carga, el indicador y su conexión al sistema de adquisición completan el subsistema de pesado desarrollado en los apartados siguientes.

5.2.1 ESPECIFICACIONES METROLÓGICAS

La célula de carga seleccionada corresponde al modelo UTILCELL 610 de tracción-compresión, con capacidad nominal de 250 kg a 500 kg. Este valor permite cubrir el rango máximo exigido por el Pliego de Prescripciones Técnicas [3] y absorber pequeñas sobrecargas o movimientos durante la elevación de las cubetas. Además, al trabajar habitualmente en la zona central del rango de medida, se mejora la estabilidad y precisión de la lectura.

La célula cumple con la recomendación OIML R60 clase C para aplicaciones de pesaje y presenta un error combinado inferior al $\pm 0,017$ % de la capacidad nominal, equivalente aproximadamente a ± 42 g para la configuración seleccionada. El cuerpo de la célula está fabricado en acero aleado con tratamiento anticorrosión y dispone de protección IP67, adecuada para un entorno con presencia de agua y salpicaduras.

La señal de salida es analógica en mV/V y se conecta a un indicador de pesaje instalado en la grúa móvil, encargado de mostrar el peso al operario y transmitir los datos al sistema de adquisición. De este modo, las medidas quedan registradas automáticamente en el software de ensayo sin necesidad de introducir los datos manualmente. Todas las especificaciones de la célula se pueden ver en la ficha técnica adjuntada en el ANEXO V – Fichas Técnicas de Equipos.



Figura 21. Célula de carga UTILCELL M610

5.2.2 CALIBRACIÓN Y TRAZABILIDAD

Para garantizar la validez del ensayo, el sistema de pesado debe disponer de trazabilidad metrológica conforme a la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 [4]. La calibración inicial de la célula de carga y del indicador se realiza una vez instalados en la grúa móvil, utilizando pesas patrón certificadas que cubren el rango habitual de trabajo del sistema. A partir de estas comprobaciones se obtiene el error de medida y se verifica el correcto funcionamiento de la cadena de pesado.

Además de la calibración inicial, el sistema debe someterse a verificaciones periódicas, especialmente tras operaciones de mantenimiento o sustitución de componentes. Antes de cada sesión de ensayos también se realiza una comprobación rápida del cero del sistema para asegurar la estabilidad de las medidas. Todos los certificados y registros de verificación se conservan junto con la documentación de ensayo, garantizando la trazabilidad completa de las medidas obtenidas por el banco.

5.3 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El sistema de adquisición de datos se encarga de recibir las señales procedentes del caudalímetro y de la célula de carga, registrarlas y enviarlas al ordenador donde se ejecuta el software de ensayo. Su función principal es garantizar que todas las medidas se almacenen de forma sincronizada durante el ensayo.

Siguiendo los requisitos establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas [3], el sistema de adquisición se sitúa cerca de la zona de ensayo y permite registrar las medidas con una frecuencia mínima de 2 Hz. Tanto las señales de caudal como las de peso quedan almacenadas automáticamente en el ordenador para su posterior tratamiento y cálculo de los parámetros definidos por la norma UNE-EN 13406:2003 [2].

5.3.1 HARDWARE DE ADQUISICIÓN

El sistema de adquisición está formado por un módulo industrial encargado de recibir las señales procedentes del caudalímetro y del indicador de pesaje, registrarlas y enviarlas al ordenador de control. Este sistema permite almacenar de forma sincronizada las medidas de caudal y peso obtenidas durante el ensayo.

Todos los elementos de adquisición se alojan en un armario eléctrico estanco situado próximo a la zona de ensayo, cumpliendo los requisitos establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas [3]. El armario incorpora la alimentación de los equipos y las protecciones eléctricas necesarias para garantizar un funcionamiento seguro y estable del sistema.

5.3.2 FRECUENCIA DE MUESTREO Y RESOLUCIÓN

La frecuencia de adquisición del sistema se ha fijado en 2 Hz, valor establecido por el Pliego de Prescripciones Técnicas [3]. Esta frecuencia permite registrar correctamente la evolución del caudal durante la descarga de la cisterna, obteniendo un número suficiente de medidas para reconstruir la curva caudal-tiempo y aplicar los criterios definidos por la norma UNE-EN 13406:2003 [2].

La resolución del sistema es superior a la requerida para el ensayo, por lo que la precisión final de la medida queda limitada principalmente por las características de los propios sensores y no por el sistema de adquisición. Todas las medidas de caudal y peso se registran de forma sincronizada y quedan almacenadas automáticamente en el software de ensayo para su posterior tratamiento y validación.

5.4 DISEÑO DEL SOFTWARE DE ENSAYO

El software de ensayo es la herramienta encargada de gestionar el registro, visualización y tratamiento de los datos obtenidos durante los ensayos longitudinales y transversales. Su función principal es almacenar las medidas registradas por el sistema de adquisición, calcular

automáticamente los parámetros definidos por la norma UNE-EN 13406:2003 y generar el veredicto del ensayo [2]. Además, el Pliego de Prescripciones Técnicas exige que el sistema permita representar gráficamente los resultados y registrar las medidas con una frecuencia mínima de 2 Hz [3].

El prototipo del software se ha desarrollado a partir del Excel de cálculo realizado previamente, donde se definieron las hojas de configuración, registro de datos y resultados del ensayo. Sobre esta base se plantea una interfaz sencilla en HTML que permite visualizar el funcionamiento previsto del sistema de forma más clara e interactiva.

Los apartados siguientes describen las diferentes pantallas y funciones incluidas en el prototipo de ensayo.

5.4.1 ESTRUCTURA GENERAL Y MENÚ PRINCIPAL

El prototipo se organiza a partir de un menú principal que permite acceder de forma directa a las funciones básicas del sistema. Desde esta pantalla el operario puede iniciar un nuevo ensayo, continuar uno ya empezado, consultar el histórico, acceder a la configuración del banco, revisar el manual de usuario o cerrar la aplicación.

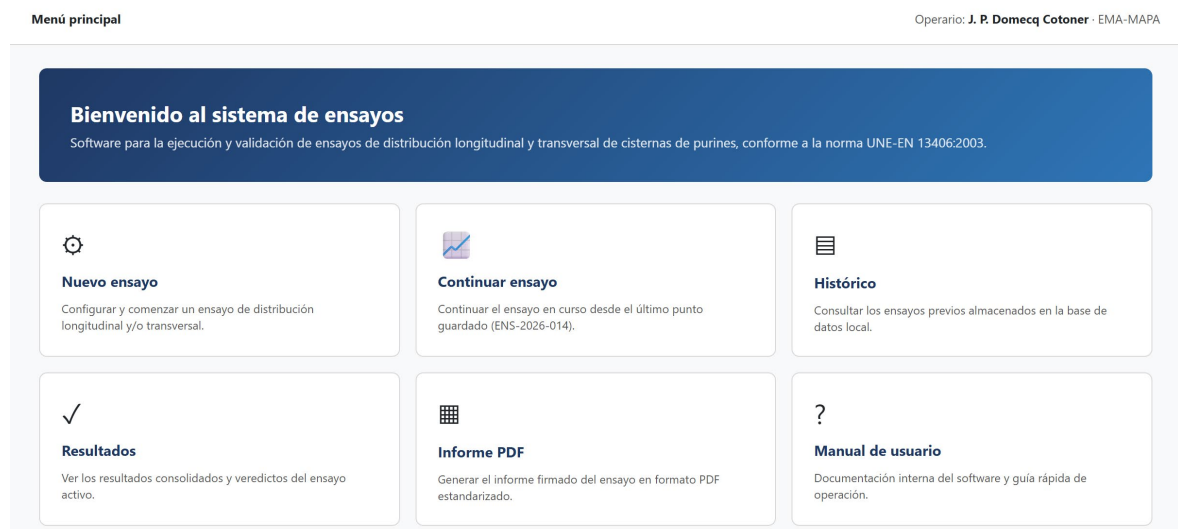


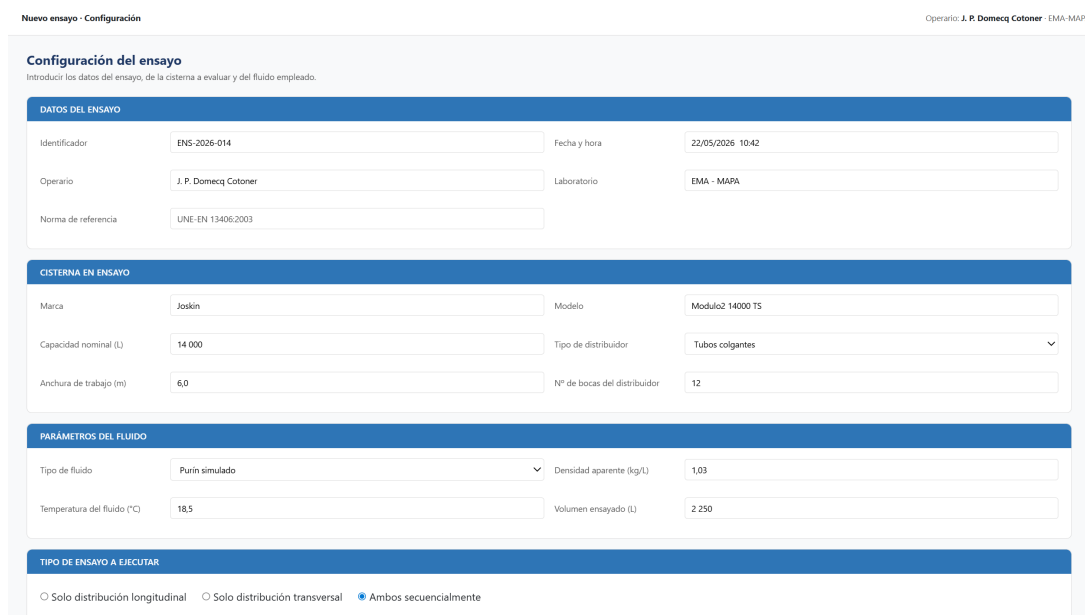
Figura 22. Menú principal del software de ensayo

El flujo de trabajo previsto sigue una secuencia sencilla: configuración del ensayo, ejecución del ensayo longitudinal, ejecución del ensayo transversal, visualización de resultados y generación del informe final. El prototipo impide avanzar sin completar los datos mínimos necesarios, garantizando que cada ensayo quede correctamente identificado y registrado.

5.4.2 MÓDULO DE CONFIGURACIÓN DE ENSAYO

La pantalla de configuración permite introducir los datos básicos necesarios antes de iniciar el ensayo. Incluye la identificación del ensayo, fecha, operario, datos de la cisterna, tipo de distribuidor, anchura de trabajo y número de bocas de salida. Este último dato es especialmente importante, ya que determina automáticamente el número de cubetas que se utilizarán en el ensayo transversal.

También se configuran los parámetros del fluido empleado. En los ensayos con agua se toma una densidad de 1,00 kg/L, mientras que en ensayos con purín puede introducirse una densidad específica para convertir las medidas de caudal en magnitudes másicas comparables con el sistema de pesado. Finalmente, el operario selecciona si desea realizar el ensayo longitudinal, el transversal o ambos de forma secuencial.



Nuevo ensayo - Configuración Operario: J. P. Domecq Cotoner - EMA-MAPA

Configuración del ensayo

Introducir los datos del ensayo, de la cisterna a evaluar y del fluido empleado.

DATOS DEL ENSAYO			
Identificador	ENS-2026-014	Fecha y hora	22/05/2026 10:42
Operario	J. P. Domecq Cotoner	Laboratorio	EMA - MAPA
Norma de referencia	UNE-EN 13406:2003		

CISTERNA EN ENSAYO			
Marca	Jaskin	Modelo	Modulo2 14000 T5
Capacidad nominal (L)	14 000	Tipo de distribuidor	Tubos colgantes
Anchura de trabajo (m)	6,0	Nº de bocas del distribuidor	12

PARÁMETROS DEL FLUIDO			
Tipo de fluido	Purín simulado	Densidad aparente (kg/L)	1,03
Temperatura del fluido (°C)	18,5	Volumen ensayado (L)	2 250

TIPO DE ENSAYO A EJECUTAR

Solo distribución longitudinal Solo distribución transversal Ambos secuencialmente

Figura 23. Pantalla de configuración del ensayo

5.4.3 MÓDULO DE DISTRIBUCIÓN LONGITUDINAL

El módulo de distribución longitudinal registra el caudal de salida de la cisterna durante toda la descarga. La pantalla muestra el identificador del ensayo, el tiempo transcurrido, el estado del registro y una gráfica del caudal instantáneo frente al tiempo, actualizada con la frecuencia de adquisición definida en el Pliego de Prescripciones Técnicas [3].



Figura 24. Módulo de ejecución del ensayo de distribución longitudinal

Durante el ensayo, el software calcula automáticamente el caudal característico, los límites de tolerancia del $\pm 15\%$ y el número de muestras que se encuentran dentro y fuera de dicha zona. Al finalizar el registro, se obtiene un veredicto provisional de conformidad según los criterios definidos por la norma UNE-EN 13406:2003 [2], que posteriormente se integra en la pantalla general de resultados.

5.4.4 MÓDULO DE DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL

El módulo de distribución transversal gestiona el pesado de las cubetas utilizadas durante el ensayo. La pantalla muestra una tabla con el número de cubeta, su posición transversal y la masa registrada en kilogramos. El valor puede introducirse manualmente o capturarse

directamente desde el indicador asociado a la célula de carga, reduciendo errores de transcripción.

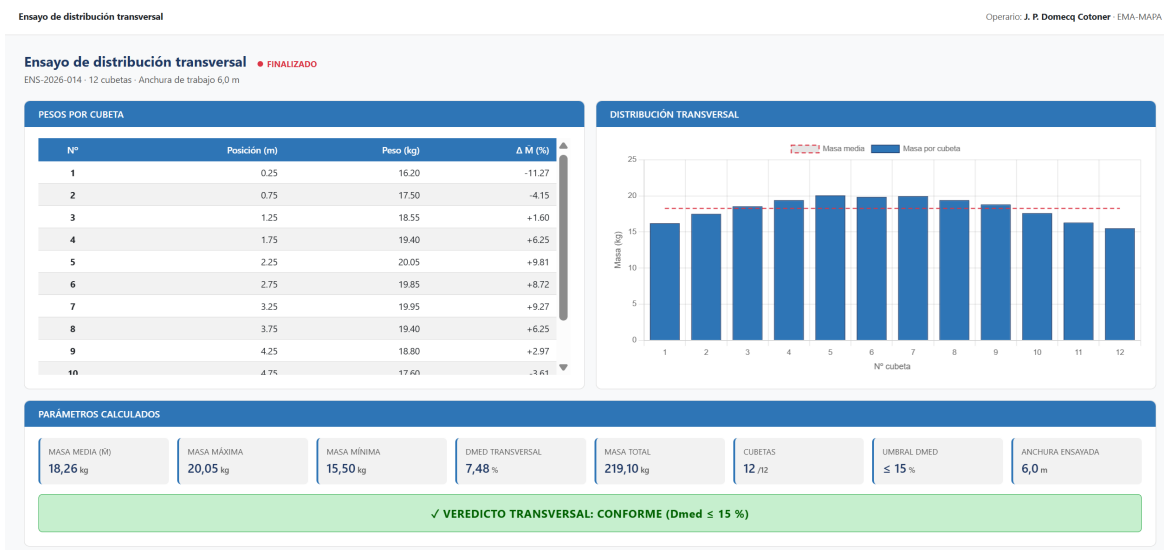


Figura 25. Módulo de ejecución del ensayo de distribución transversal

A medida que se registran las cubetas, el software genera un gráfico de barras con la masa recogida en cada una y calcula automáticamente la masa media, la desviación y el coeficiente de variación. Una vez completado el pesado, el sistema emite el veredicto transversal según el criterio establecido por la norma UNE-EN 13406:2003 [2].

5.4.5 MÓDULO DE RESULTADOS Y EXPORTACIÓN A EXCEL

La pantalla de resultados reúne en una única vista los datos principales del ensayo, los resultados longitudinales y los resultados transversales. En ella se muestran las gráficas generadas, los parámetros calculados y el veredicto de cada prueba. A partir de estos resultados, el software emite un veredicto global de conformidad según la norma UNE-EN 13406:2003 [2].

Desde esta pantalla también se permite exportar los resultados a Excel, manteniendo una estructura similar al archivo de cálculo desarrollado previamente: configuración, datos registrados, cálculos y resumen final. Además, el ensayo queda guardado en el histórico, permitiendo consultarlo o exportarlo de nuevo sin modificar los datos originales.



Figura 26. Pantalla de resultados consolidados

5.4.6 GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE INFORMES

El software permite generar automáticamente un informe final del ensayo en formato PDF. Este documento recoge los datos principales de la cisterna, los equipos utilizados, los resultados longitudinales y transversales, las gráficas obtenidas y el veredicto global de conformidad según la norma UNE-EN 13406:2003 [2].

El informe actúa como entregable formal del ensayo y permite conservar una evidencia clara de los resultados obtenidos. Además, queda vinculado al archivo Excel exportado, donde se almacenan los datos registrados y los cálculos realizados, facilitando la trazabilidad y revisión posterior del ensayo.

INFORME DE ENSAYO

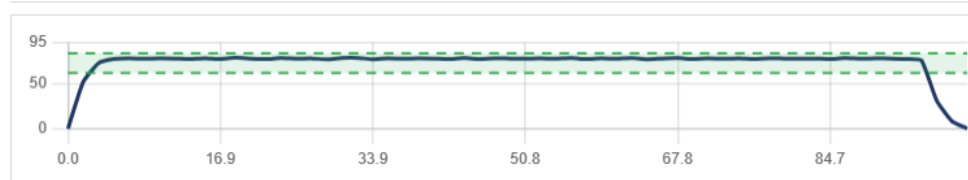
Banco de ensayos de distribución para cisternas de purines
ENS-2026-014 · 22/05/2026

EMA - MAPA
UNE-EN 13406:2003

DATOS DEL ENSAYO

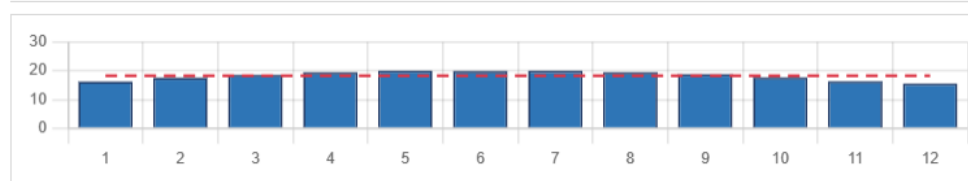
Cisterna	Joskin Modulo2 14000 TS — 14 000 L
Distribuidor	Tubos colgantes · 12 bocas · anchura 6,0 m
Fluido	Purín simulado · densidad 1,03 kg/L · 18,5 °C
Operario	J. P. Domecq Cotoner

ENSAYO DE DISTRIBUCIÓN LONGITUDINAL



Caudal característico	72,23 kg/s	Zona tolerancia	61,39 – 83,06 kg/s
% tiempo en zona	91,7 %	Volumen descargado	2 167 L

ENSAYO DE DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL



Masa media (\bar{M})	18,26 kg	Masa total	219,10 kg
Dmed transversal	7,48 %	Cubetas	12 / 12

✓ ENSAYO CONFORME SEGÚN UNE-EN 13406:2003

Firma del operario:

J. P. Domecq Cotoner



Software v1.0
EMA-MAPA · Madrid

Figura 27. Vista previa del informe generado en formato PDF

5.5 ENSAYO SIMULADO

El capítulo se cierra con un ensayo simulado sobre un conjunto de datos ficticios pero representativos. El objetivo es comprobar que las fórmulas funcionan correctamente, que los resultados longitudinales y transversales son coherentes entre sí y que el prototipo permite generar un resumen claro del ensayo. Los datos y cálculos se han implementado en el Excel desarrollado para el ensayo simulado.

El ensayo se identifica como ENS-2026-014 y reproduce la evaluación de una cisterna comercial según los criterios de la norma UNE-EN 13406:2003 [2]. En los siguientes apartados se presentan la configuración del ensayo, los resultados longitudinales, los resultados transversales y el veredicto global obtenido.

5.5.1 OBJETIVO, CONFIGURACIÓN Y DATASET

El ensayo simulado se ha realizado sobre una cisterna representativa de 14.000 litros, equipada con distribuidor de tubos colgantes, doce bocas de salida y una anchura de trabajo de 6 metros. El volumen ensayado se fija en 2.250 litros, correspondiente a una descarga parcial de unos 30 segundos. Para la simulación se consideran los equipos descritos en este capítulo: caudalímetro Siemens Sitrans FM, célula de carga UTILCELL modelo 610 de 250 kg y sistema de adquisición de datos.

CISTERNA EN ENSAYO	
Marca	Joskin
Modelo	Modulo2 14000 TS
Capacidad nominal (L)	14 000
Tipo de distribuidor	Tubos colgantes
Anchura de trabajo (m)	6
Número de bocas de salida	12
Volumen ensayado (L)	2 250

Tabla 11. Datos de configuración de la cisterna del ensayo simulado

El fluido utilizado es purín, con una densidad configurada de 1,03 kg/L. Esta densidad permite convertir el caudal volumétrico registrado por el caudalímetro en caudal másico,

utilizado en el cálculo longitudinal. El dataset se divide en dos bloques: las muestras de caudal del ensayo longitudinal, registradas a 2 Hz, y las masas recogidas en las 12 cubetas del ensayo transversal. Los valores se han definido para representar un comportamiento realista, con pequeñas variaciones entre salidas y una curva de descarga con apertura, régimen estable y cierre.

5.5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO LONGITUDINAL

El registro de caudal del ensayo simulado presenta una curva de descarga con tres fases: apertura inicial, descarga principal y cierre final. Aunque visualmente puede distinguirse una zona más estable, el cálculo normativo del caudal característico se realiza considerando todas las muestras registradas durante el tiempo de descarga, conforme a la norma UNE-EN 13406:2003 [2].

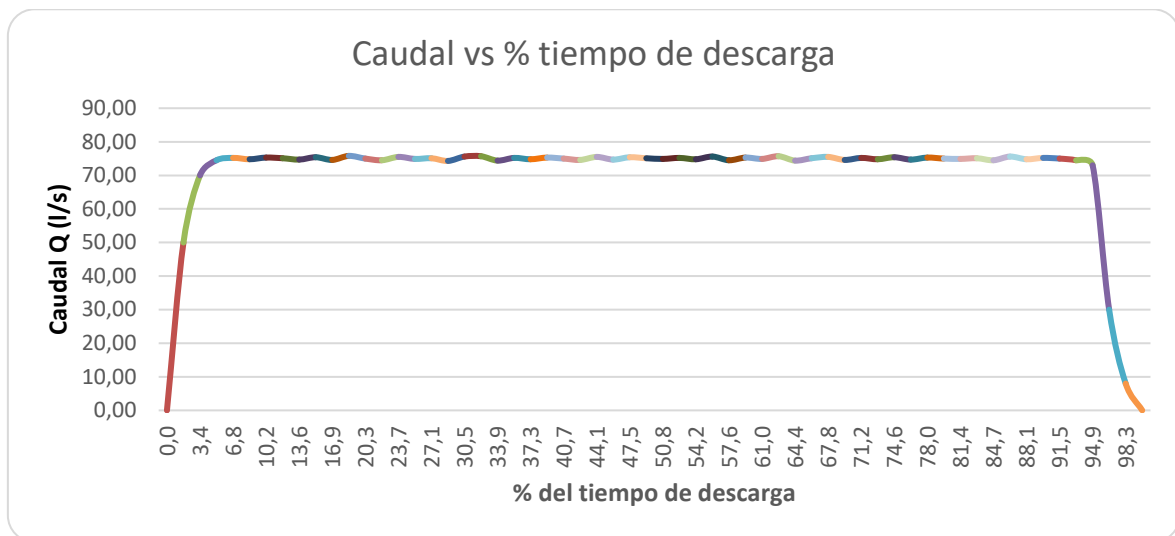


Figura 28. Curva de descarga simulada

Los resultados obtenidos son: caudal característico de 72,23 kg/s, zona de tolerancia entre 61,39 y 83,06 kg/s y volumen total descargado de 2.167 L. Al haberse configurado el ensayo con purín de densidad 1,03 kg/L, el software transforma el caudal volumétrico registrado por el caudalímetro en caudal másico, que es el valor utilizado para el análisis longitudinal.

Sobre el conjunto completo de 60 muestras registradas, 55 se encuentran dentro de la zona de tolerancia, lo que equivale al 91,7 % del tiempo total de descarga. Este valor supera el umbral mínimo del 90 %, por lo que el módulo longitudinal emite el veredicto CONFORME según la norma UNE-EN 13406:2003 [2].

ENSAYO LONGITUDINAL — CÁLCULOS SEGÚN UNE-EN 13406:2003

Parámetro	Valor	Unidad
Duración total del ensayo (T_total)	29,5	s
Número de muestras	60	-
Caudal pico (Q_pico)	78,07	kg/s
Caudal característico (Q_c)	72,23	kg/s
Límite superior de tolerancia (+15%)	83,06	kg/s
Límite inferior de tolerancia (-15%)	61,39	kg/s
Muestras dentro de la zona ±15%	55	-
Muestras totales del ensayo	60	-
% tiempo dentro de la zona ±15%	91,7	%
Volumen total descargado (∫Q·dt)	2104	L

CRITERIO DE CONFORMIDAD		
Umbral mínimo % tiempo en zona ±15%	90	%
VEREDICTO LONGITUDINAL	CONFORME	

Tabla 12. Parámetros calculados del ensayo longitudinal

5.5.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO TRANSVERSAL

El registro transversal contiene las masas recogidas en las doce cubetas, distribuidas a lo largo de los 6 metros de anchura de trabajo del distribuidor. La distribución es visible con el siguiente diagrama de barras:

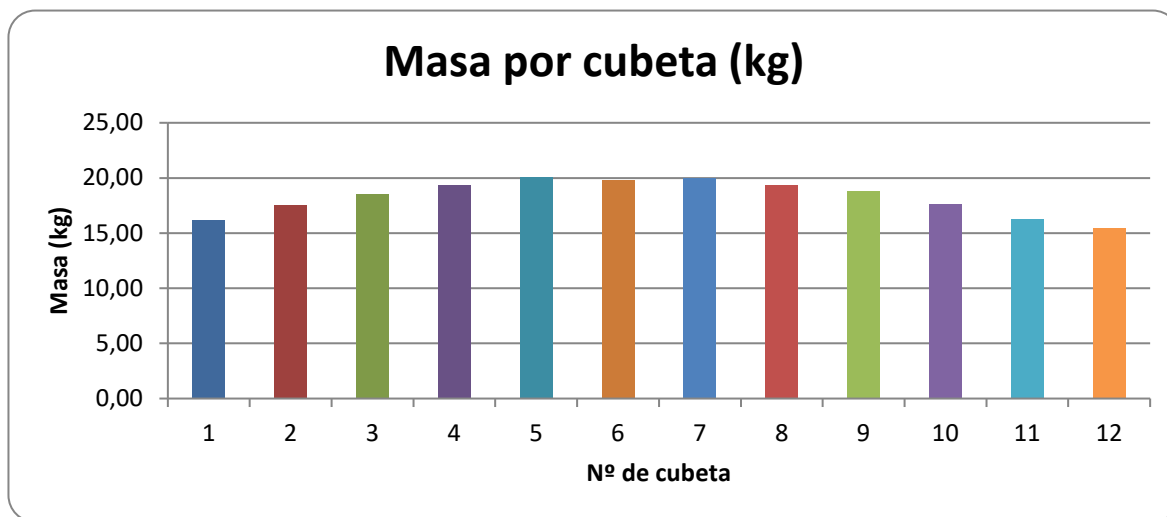


Figura 29. Distribución transversal de masa por cubeta

Los resultados obtenidos son: masa media por cubeta de 18,26 kg, desviación media transversal de 7,48 % y masa total recogida de 219,10 kg. A partir de estos valores, el software compara la desviación obtenida con el límite máximo admisible establecido por la norma UNE-EN 13406:2003 [2].

La desviación media transversal obtenida queda por debajo del umbral del 15 %, por lo que el módulo transversal emite el veredicto CONFORME. Este resultado confirma que la distribución entre las distintas salidas del distribuidor se mantiene dentro de los márgenes admisibles definidos para el ensayo.

ENSAYO TRANSVERSAL — CÁLCULOS SEGÚN UNE-EN 13406:2003

Parámetro	Valor	Unidad
Masa media por cubeta (\bar{M})	18,26	kg
Masa máxima	20,05	kg
Masa mínima	15,50	kg
Desviación media transversal (D_{med})	7,48	%

Masa total recogida	219,10	kg
Número de cubetas	12	-
Anchura de trabajo ensayada	6,00	m

CRITERIO DE CONFORMIDAD		
Umbral máximo CV admisible (UNE-EN 13406)	15	%
VEREDICTO TRANSVERSAL	CONFORME	

Tabla 13. Parámetros calculados del ensayo transversal

5.5.4 RESOLUCIÓN GLOBAL Y VALIDACIÓN

La combinación de los resultados longitudinal y transversal permite emitir el veredicto global del ensayo. Al ser ambos resultados CONFORME, el software genera automáticamente un veredicto global de CONFORMIDAD según UNE-EN 13406:2003 [2], que queda reflejado en la hoja resumen del Excel y en el informe final.

Los valores obtenidos presentan margen suficiente respecto a los límites normativos: el ensayo longitudinal alcanza un 91,67 % de tiempo dentro de tolerancia, frente al mínimo del 90 %, y el ensayo transversal presenta una desviación media del 7,48 %, inferior al límite del 15 %. Por tanto, el ensayo simulado valida el funcionamiento de la cadena de medida y cálculo, quedando pendiente su comprobación final sobre cisternas reales tras la instalación del banco.

RESUMEN DEL ENSAYO — VEREDICTO GLOBAL

Identificador	ENS-2026-014
Cisterna ensayada	Joskin Modulo2 14000 TS
Fecha	22/05/2026

ENSAYO DE DISTRIBUCIÓN LONGITUDINAL		
Caudal característico (Q_c)	78,07	kg/s
Zona de tolerancia (±15%)	61,39 – 83,06	kg/s
Tiempo dentro de zona	91,7	%
Volumen total descargado	2167	L
Veredicto longitudinal	CONFORME	

ENSAYO DE DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL		
Masa media por cubeta (\bar{M})	18,26	kg
Desviación media transversal	7,48	%
Masa total recogida	219,10	kg
Nº de cubetas utilizadas	12	
Veredicto transversal	CONFORME	

VEREDICTO GLOBAL
ENSAYO CONFORME SEGÚN UNE-EN 13406:2003

Tabla 14. Resumen del ensayo simulado y veredicto global

Capítulo 6. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Y DESARROLLO CAD

6.1 INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA CAD

El desarrollo del diseño asistido por ordenador (CAD) se ha realizado mediante el software de Solid Edge 2025, empleando herramientas que permiten el modelado y la definición precisa de la geometría, así como la generación de la documentación técnica asociada.

La metodología de trabajo adoptada se ha basado en un enfoque *bottom-up*, consiste en el diseño individual de cada pieza del banco de ensayos, para posteriormente integrarlos en subconjuntos y en el ensamblaje general del banco. Este procedimiento permite un mayor control sobre las características geométricas y funcionales de cada pieza, así como la gestión de interferencias y relaciones entre componentes.

El nivel de detalles se ha orientado hacia la fabricación de las piezas mediante geometría precisa, materiales y características técnicas de cada una. A partir de los modelos 3D se han generado los planos de fabricación y conjunto, incluyendo cotas, tolerancias y especificaciones técnicas.

En cuanto a la normalización, se han seguido los criterios de la normativa ISO asegurando la correcta interpretación de la documentación técnica y su coherencia con los estándares habituales de la ingeniería.

Finalmente, este capítulo recoge el modelado y la generación de documentación técnica centrándose en su materialización en entorno CAD.

6.2 MODELADO 3D

El modelado 3D del banco se ha realizado descomponiendo el sistema en piezas individuales, que posteriormente se han integrado en subconjuntos y en el ensamblaje final. Este enfoque permite una definición clara de cada componente y su correcta integración en el conjunto.

6.2.1 MODELADO DE COMPONENTES INDIVIDUALES

El modelado de las componentes individuales se ha realizado de forma independiente, atendiendo a su función dentro del sistema y diferenciando entre elementos estructurales, elementos de soporte y refuerzo, componentes móviles y elementos funcionales del banco de ensayo.

6.2.1.1 Elementos estructurales

Los elementos estructurales componen la base del banco de ensayos e incluyen elementos como los largueros, la pirámide y los marcos principales. Estas piezas se han modelado mediante operaciones de extrusión, priorizando la simplicidad geométrica y la correcta definición de las dimensiones.

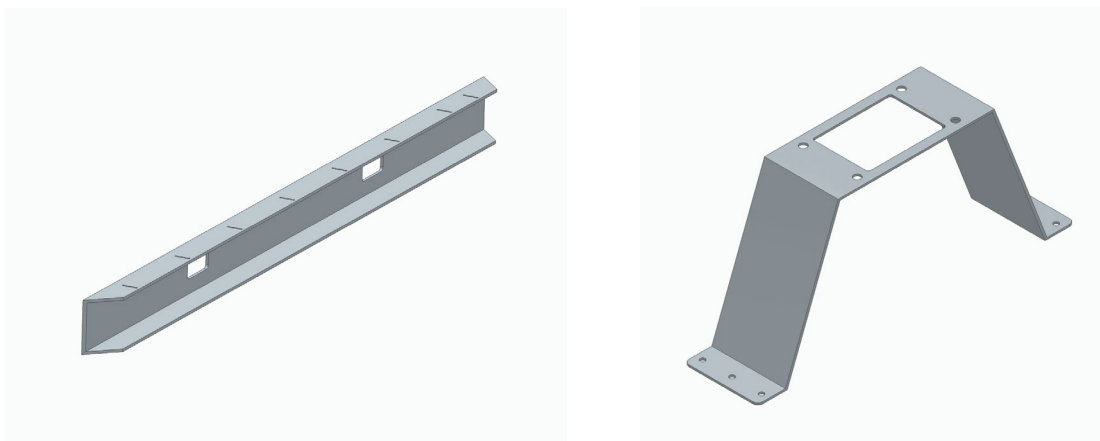


Figura 30. Elementos estructurales principales del banco de ensayos: (a) larguero estructural, (b) elemento piramidal de soporte

6.2.1.2 Elementos de soporte y refuerzo

Los elementos de soporte y refuerzo como cartelas, placas y soportes de unión, se han definido mediante operaciones básicas de modelado garantizando su correcta unión y función en el ensamblaje. Se ha priorizado una geometría sencilla que permita su fabricación y montaje sin complejidades.

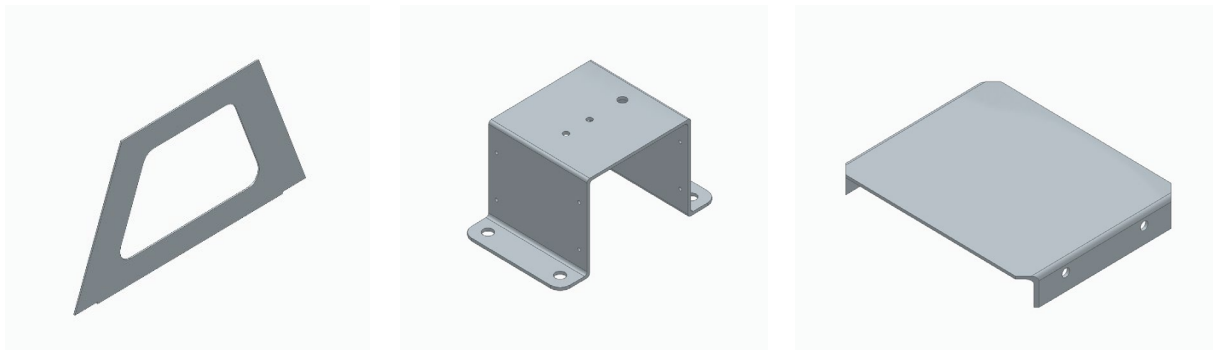


Figura 31. Elementos auxiliares del banco de ensayos: (a) cartela estructural, (b) soporte del actuador, (c) elemento de protección

6.2.1.3 Componentes móviles

Los componentes móviles incluyen el sistema de ruedas, el eje vertical y elementos asociados al sistema de elevación. Dentro de este grupo se encuentran componentes como el cilindro elevador, el anclaje, el soporte articulado, la horquilla y la barra de elevación, que permiten la transmisión del movimiento y la manipulación de la carga.

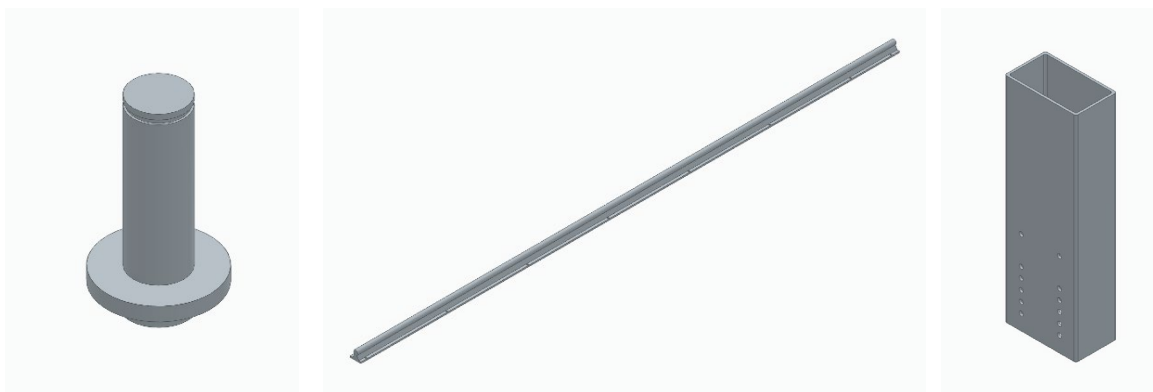


Figura 32. Elementos del sistema de movilidad y elevación: (a) eje vertical, (b) soporte de guiado (rail support), (c) mástil

Su modelado se ha realizado teniendo en cuenta las relaciones de movimiento, así como las restricciones geométricas necesarias para su correcto funcionamiento dentro del conjunto.

6.2.1.4 Elementos funcionales

Adicionalmente se han diseñado los elementos relacionados con la función del banco de ensayos, como las cubetas y el colector. Esos componentes no forman parte de la estructura principal, pero son esenciales para la realización de los ensayos y la medición de datos.

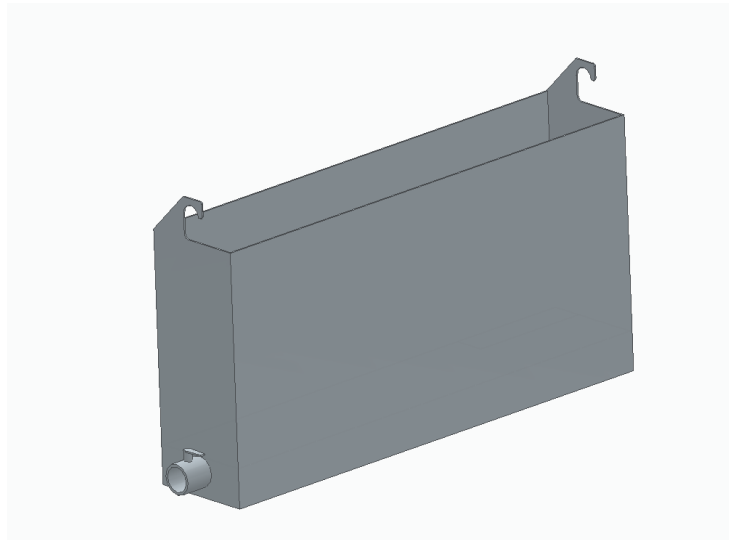


Figura 33. Cubeta de pesaje para la recogida y medición del volumen de fluido

6.2.2 ENSAMBLAJE DE SUBCONJUNTOS

Una vez definidos los componentes individuales, se ha procedido a su agrupación en subconjuntos funcionales, lo que permite organizar el modelo de forma estructurada y facilitar tanto su análisis como su posterior modificación.

En primer lugar, se ha definido la estructura inferior del banco de ensayos que integra el bastidor principal junto con el sistema de movilidad, incluyendo las ruedas, los ejes y los elementos de guiado. Este subconjunto constituye la base estructural del sistema garantizando su estabilidad y desplazamiento.

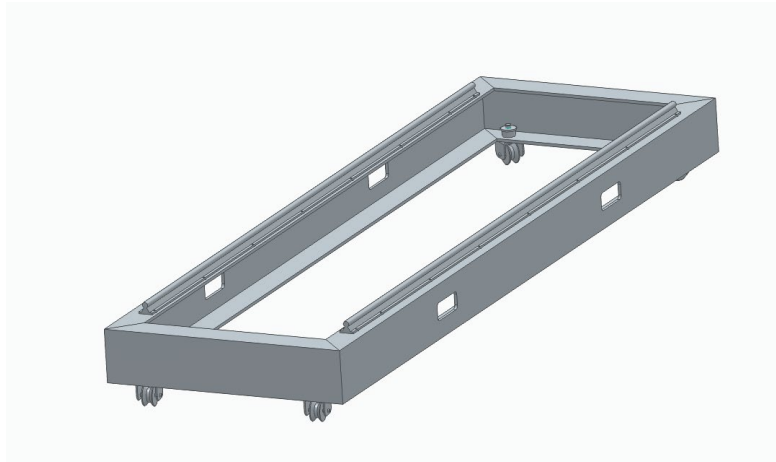


Figura 34. Subconjunto inferior: bastidor estructural y sistema de movilidad

En segundo lugar, se ha desarrollado el subconjunto correspondiente a la parte superior del banco, que incluye el sistema de elevación y manipulación formado por el mástil, la grúa móvil, el actuador y los elementos de soporte asociados. Este subconjunto permite la manipulación de las cubetas durante el proceso de ensayo.

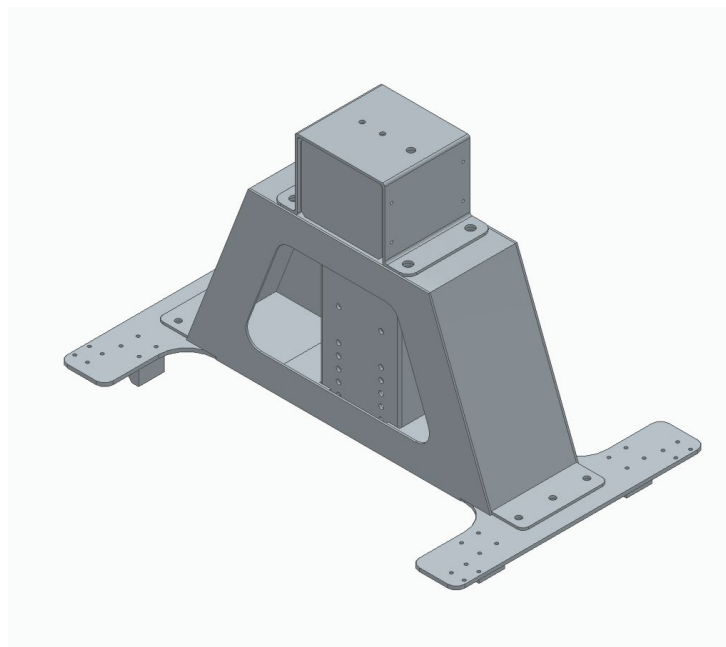


Figura 35. Subconjunto superior: sistema de elevación y grúa móvil

En tercer lugar, se ha definido el sistema de elevación integrado por el cilindro elevador, el anclaje y la placa actuador, encargado de generar el movimiento vertical del mástil. Este sistema permite el desplazamiento controlado verticalmente para la elevación de la carga durante el proceso.

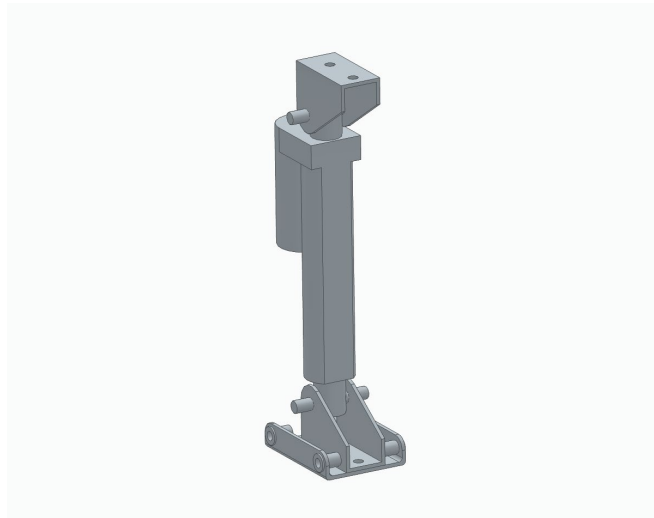


Figura 36. Subconjunto sistema de elevación

Finalmente, se ha modelado el brazo basculante, constituido por la placa célula, el soporte articulado, la horquilla y la barra de elevación. Este subconjunto permite la sujeción y transmisión del movimiento hacia la carga, facilitando su posicionamiento y posterior pesado mediante el sistema de medición integrado.



Figura 37. Subconjunto brazo basculante

6.2.3 CONJUNTO GENERAL

El ensamblaje final del banco de ensayos se ha realizado fusionando los distintos subconjuntos previamente definidos, estableciendo las restricciones geométricas necesarias para asegurar la correcta posición relativa de todos los componentes.

Durante este proceso se ha llevado a cabo la comprobación de las interferencias entre piezas, así como la validación de holguras entre los distintos elementos móviles, con el objetivo de garantizar la viabilidad del diseño.

El resultado es un modelo tridimensional completo que representa la configuración final del sistema visible en la siguiente Figura.

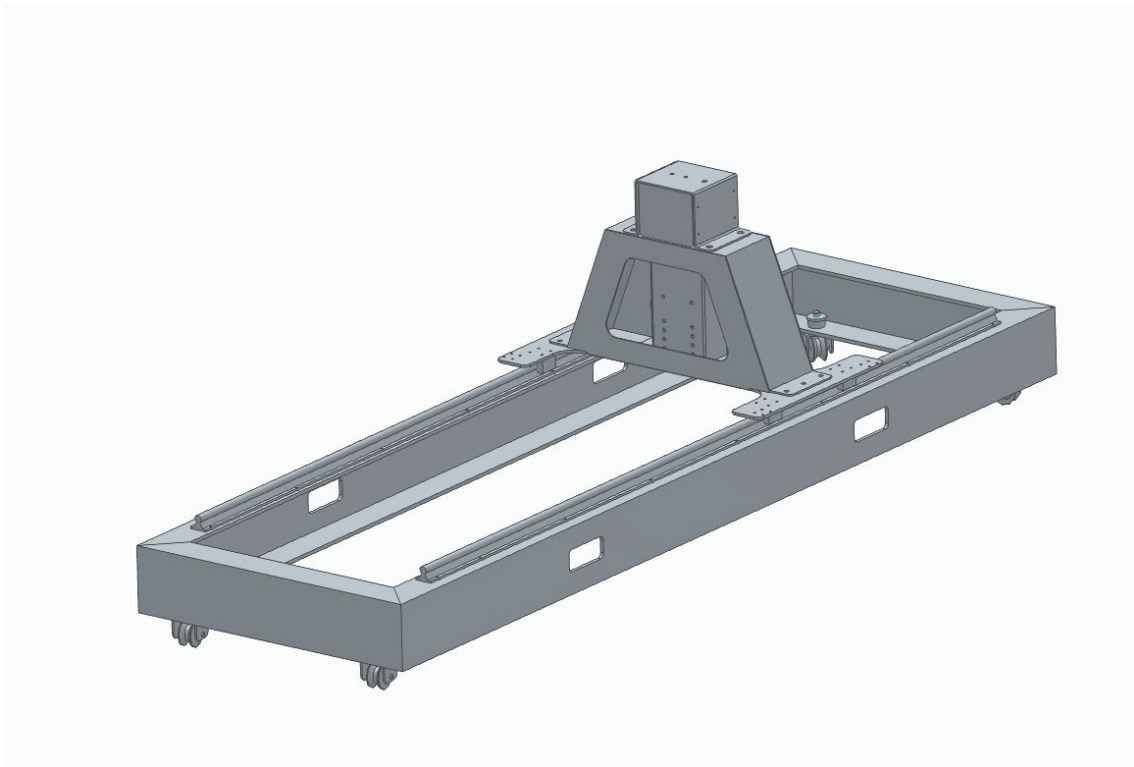


Figura 38. Conjunto completo de la grúa móvil

6.3 PLANOS DE FABRICACIÓN (PIEZAS)

A partir de los modelos tridimensionales desarrollados en el entorno CAD, se han generado los planos de fabricación correspondientes a los distintos componentes del banco de ensayos. Estos planos recogen la información técnica necesaria para la correcta fabricación de las piezas, siguiendo criterios de normalización y representación propios del ámbito industrial.

En la elaboración de los planos se ha adoptado el sistema de proyección europeo, asegurando una representación clara y estandarizada de las vistas. La acotación se ha realizado priorizando las funciones y características principales de cada pieza para garantizar el ensamblaje entre componentes.

En cuanto a las tolerancias, se han aplicado según normativa ISO 2768, complementadas con tolerancias específicas en aquellas zonas críticas para el montaje o funcionamiento del banco.

Asimismo, se han incluido indicaciones de acabado superficial en aquellas zonas donde resulta relevante, permitiendo asegurar las condiciones necesarias para el correcto comportamiento de la pieza.

Los planos se han generado siguiendo un formato homogéneo, implementando un cajetín normalizado que recoge la información identificativa de cada componente, con denominación, código, escala y tolerancias aplicadas.

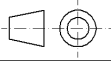
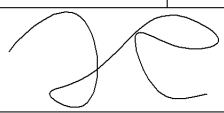

MATERIAL	Acero F-1140	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO	Larguero 1
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	A3		TÍTULO	BASTIDOR
NOMBRE		FECHA			
DIBUJADO	J.P.D.C	25/02/2026			
COMPROBADO					
ESCALA:	FIRMA				CÓDIGO PT061.01.01
1:10					

Figura 39. Detalle del cajetín normalizado empleado en los planos de fabricación (ejemplo: larguero 1)

Como ejemplo representativo, en la siguiente figura se muestra un plano de fabricación, donde se observan los criterios de representación, acotación y definición técnica aplicados.

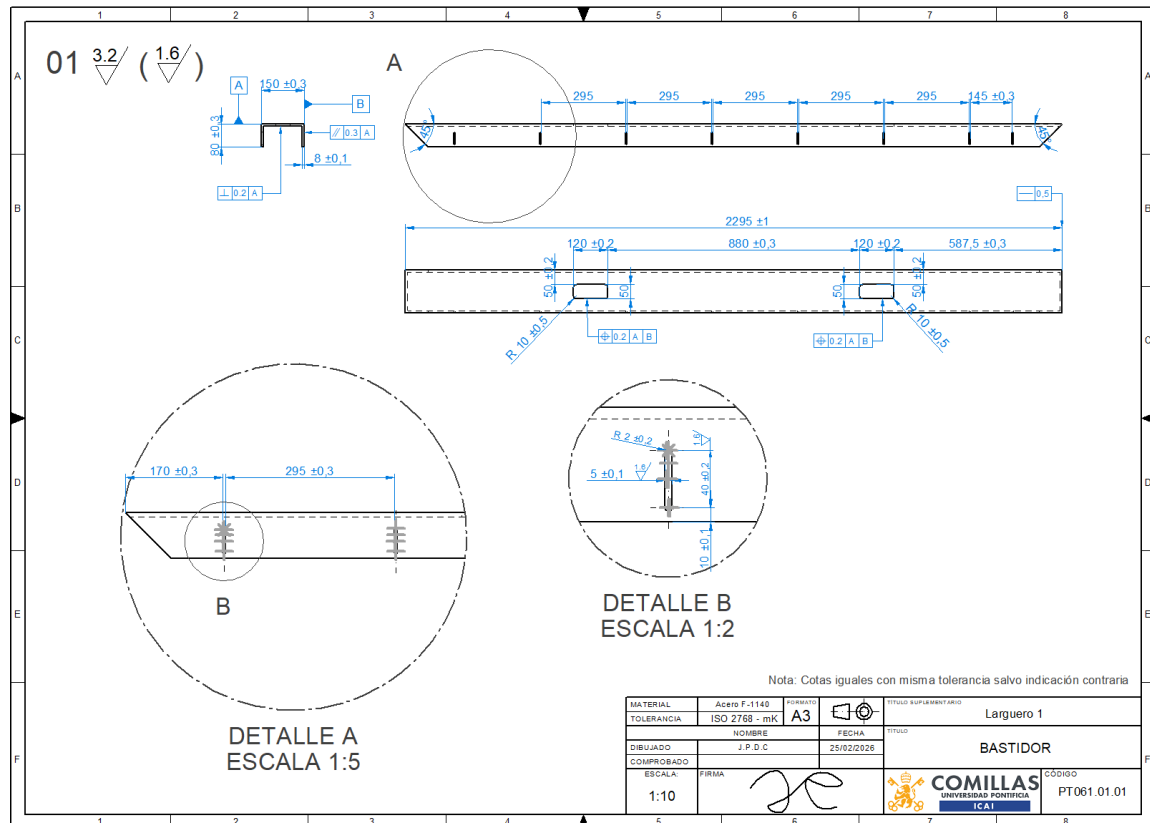


Figura 40. Ejemplo de plano de fabricación de componente estructural del banco de ensayos (larguero del bastidor)

El conjunto completo de planos generados se recoge en el ANEXO I – Planos de Detalle, donde se representa la documentación técnica detallada de todas las piezas diseñadas.

6.4 PLANOS DE CONJUNTO Y SUBCONJUNTOS

A partir del ensamblaje tridimensional del banco de ensayos, se han desarrollado los planos de conjunto correspondientes a los diferentes subconjuntos que lo conforman. Esos planos permiten definir las dos partes principales y funcionales del banco de ensayos, facilitando la comprensión del montaje del banco.

En particular, se han realizado planos diferenciados para los dos subconjuntos principales del banco, incluyendo el bastidor inferior y el conjunto parte superior, que incluye el sistema de elevación y el brazo basculante para la manipulación de las cubetas.

A diferencia de los planos de fabricación, estos planos se centran en la disposición de cada componente individual, incorporando la identificación de cada pieza mediante un número. Esta identificación permite relacionar cada elemento con su correspondiente lista de materiales, facilitando las tareas de montaje y mantenimiento.

En las siguientes Figuras se muestran las vistas explosionadas de los subconjuntos definidos, donde se puede observar la disposición de los distintos componentes y su relación dentro del sistema.

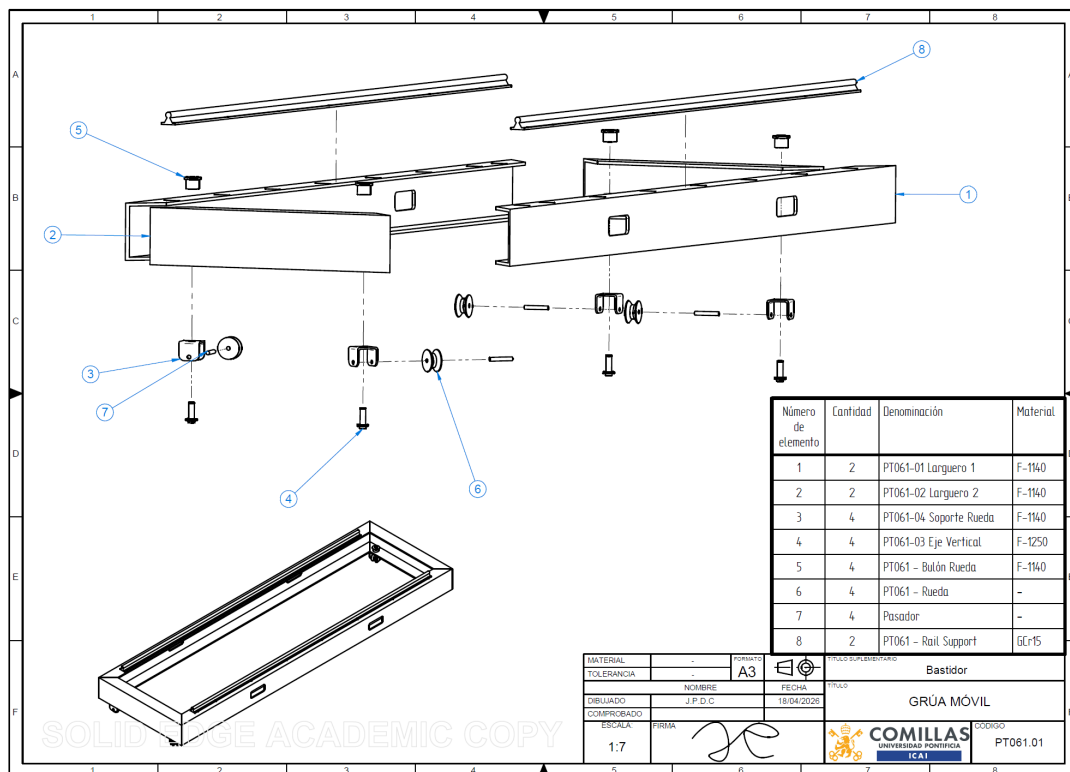


Figura 41. Vista explosionada del subconjunto inferior: bastidor y sistema de movilidad

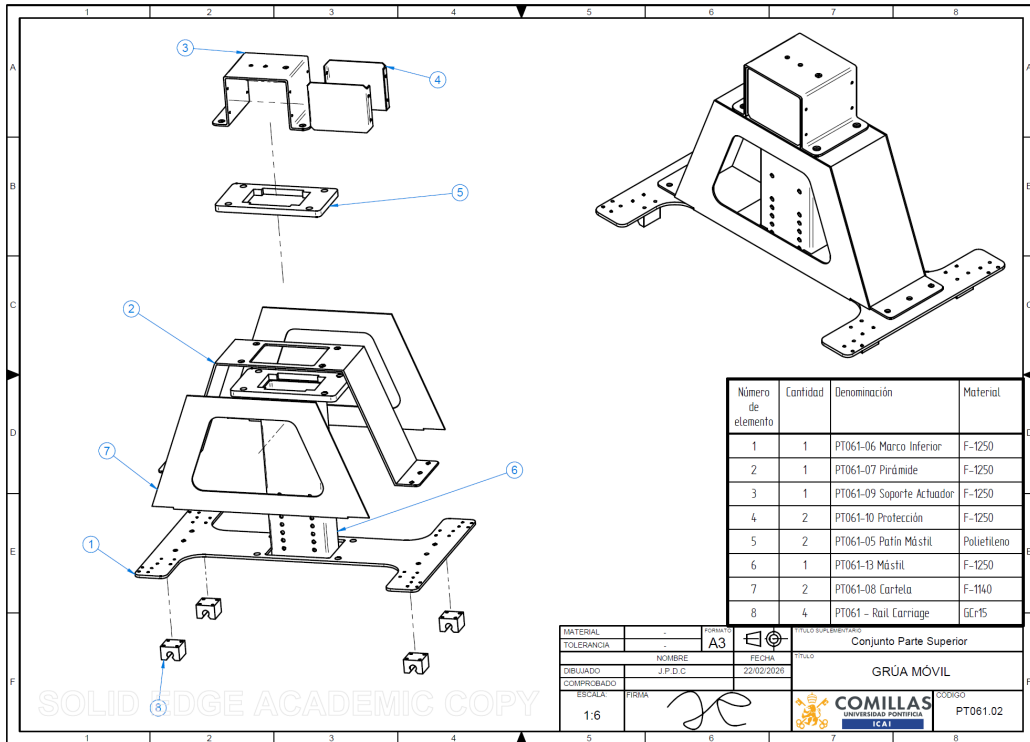


Figura 42. Vista explosionada del subconjunto superior: sistema de elevación y grúa móvil

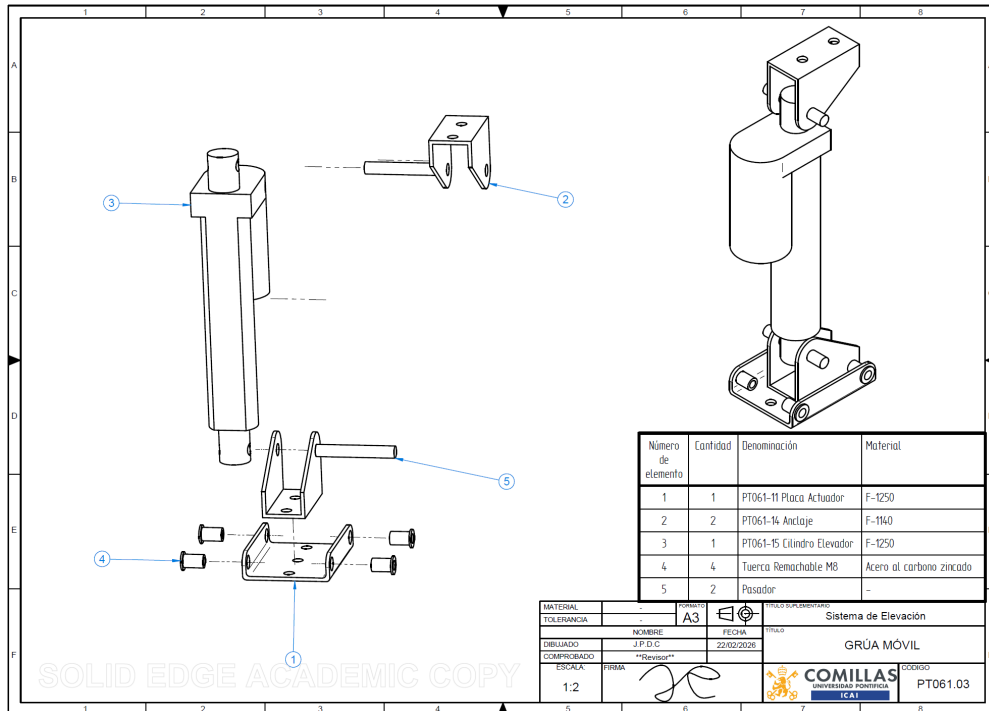


Figura 43. Vista explosionada del sistema de elevación

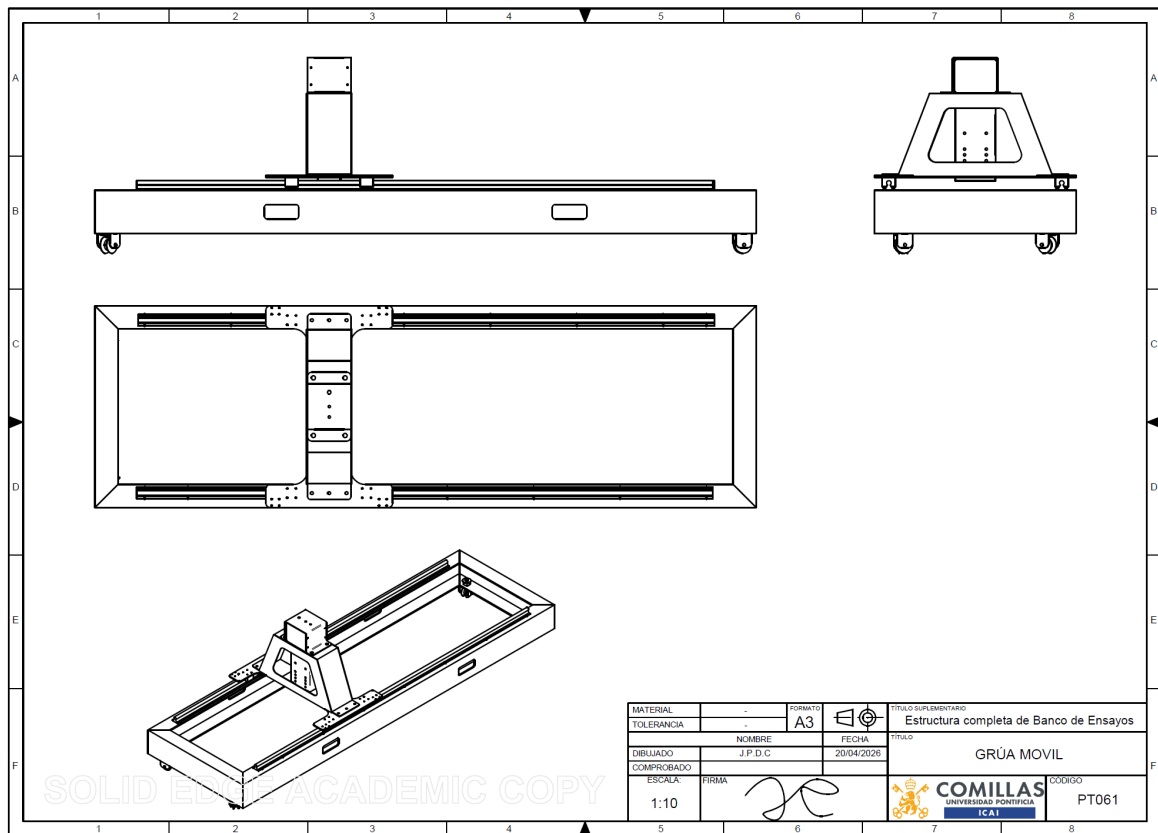


Figura 45. Plano de conjunto general del banco de ensayos

Este tipo de representación complementa las vistas explosionadas, proporcionando una referencia clara del estado ensamblado del sistema.

Los planos completos del conjunto y subconjuntos se recogen en el ANEXO II – Planos de Conjunto y Subconjunto, donde se presenta la documentación detallada del ensamblaje del banco de ensayos.

6.5 SISTEMAS HIDRÁULICOS Y ELÉCTRICOS

6.5.1 ESQUEMA HIDRÁULICO

El funcionamiento del banco de ensayos requiere un sistema hidráulico que permita el almacenamiento, el trasiego y la recirculación del purín empleado en los ensayos. Para la

representación clara de este sistema, se ha realizado un esquema hidráulico que recoge los principales elementos del circuito y su interconexión.

Los principales elementos que componen el sistema hidráulico del banco de ensayos y sus respectivas funciones son:

- **Depósito de almacenamiento:** permite acumular hasta 20.000 L de fluido para los ensayos.
- **Sistema de bombeo:** impulsa el fluido a través del sistema.
- **Sistema de filtrado:** garantiza la limpieza del purín para su recirculación.
- **Válvulas de control:** regulan el flujo y permiten controlar el modo de operación del sistema.
- **Colector del banco:** recoge el agua procedente del ensayo.
- **Sistema de cloración:** mantiene las condiciones del fluido durante la reutilización.
- **Conexión con alcantarillado:** permite el vaciado del sistema cuando sea necesario.

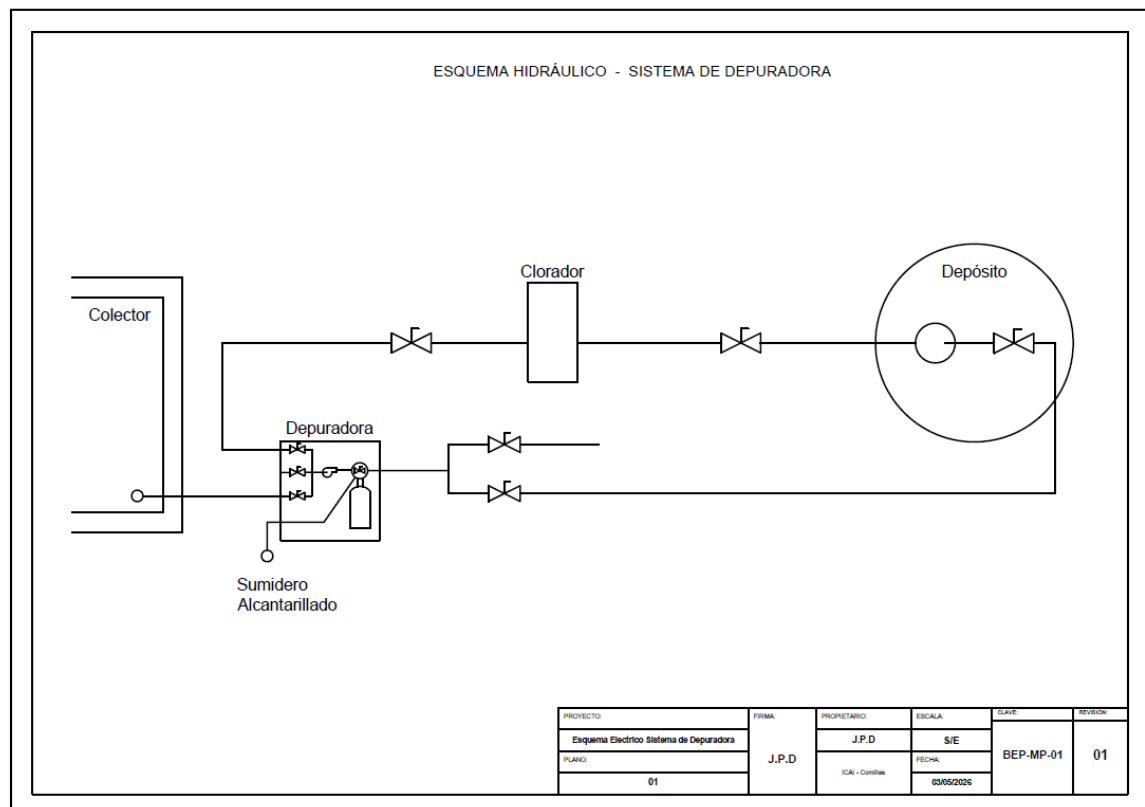


Figura 46. Esquema hidráulico del banco de ensayos

El esquema permite visualizar el recorrido del purín a lo largo del sistema, así como la función de cada uno de los elementos que lo componen, facilitando así la comprensión global del funcionamiento hidráulico del banco de ensayos.

En particular, el sistema está diseñado para permitir tanto el suministro de agua a la cisterna de ensayo como la recuperación del fluido desde el colector hasta el depósito, garantizando un funcionamiento continuo y eficiente.

6.5.2 ESQUEMAS ELÉCTRICOS

El funcionamiento del banco de ensayos requiere un sistema eléctrico que permita la alimentación, el control y adquisición de datos de los distintos elementos del sistema. Con el fin de representar de forma clara su estructura y facilitar su comprensión, se han desarrollado varios sistemas eléctricos que recogen las principales configuraciones del sistema.

En primer lugar, el esquema de mando y potencia define la arquitectura eléctrica encargada de la alimentación y control de la grúa del banco de ensayos. El sistema se basa en una alimentación en corriente continua, distribuida mediante líneas de positivo y negativo, a partir de las cuales se gobierna el funcionamiento del conjunto.

En concreto, se realiza mediante cuatro relés que actúan como elementos de conmutación permitiendo la activación de la grúa. La lógica del sistema establece la interconexión de estos relés aplicando una determinada polaridad entre bornes que permite subir la grúa. De forma análoga, la inversión de dicha polaridad obtenida mediante la actuación del pulsador opuesto genera el movimiento en sentido contrario.

En particular, en caso de accionamiento de ambos interruptores, la lógica del circuito impide el cierre de los contactos de potencia, quedando un circuito abierto. Adicionalmente, se ha incorporado un pulsador de parada de emergencia que permite la apertura inmediata del circuito, interrumpiendo completamente la alimentación eléctrica al sistema. Esta configuración actúa como un mecanismo de protección frente a órdenes contradictorias y situaciones de riesgo, garantizando la seguridad tanto del equipo como del operario.

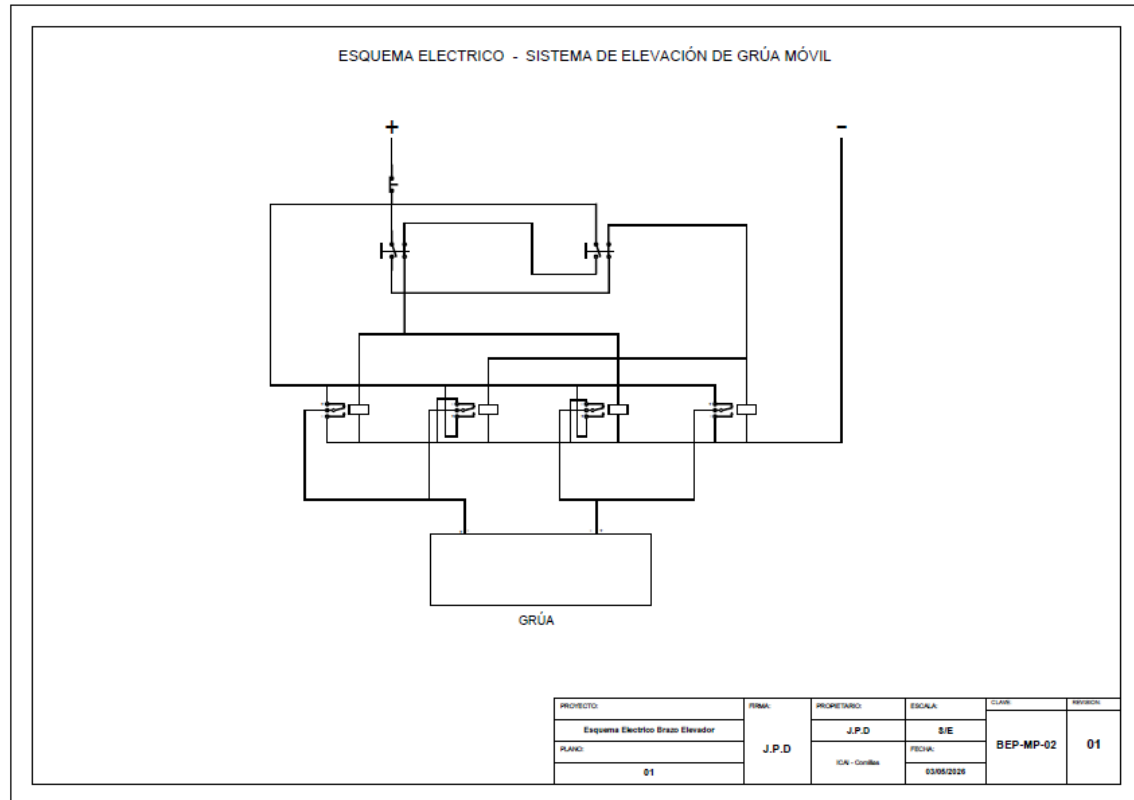


Figura 47. Esquema eléctrico de mando y potencia

En segundo lugar, el esquema eléctrico del sistema de bombeo se encarga de la alimentación, protección y maniobra de la depuradora, responsable de tratar y recircular el fluido entre depósito y colector. La instalación se alimenta de red monofásica de 230V y cuenta con varios elementos de protección: magnetotérmico general, interruptor diferencial y magnetotérmico específico para el motor, para proteger el conjunto frente a sobrecargas, cortocircuitos y fugas a tierra, indicados con la letra F como protección general del circuito. Asimismo, el contactor controla el arranque y la parada de la bomba.

La principal característica del circuito de mando de la depuradora es que permite gobernarla en dos modos de funcionamiento mediante el selector de posiciones A/M. En el modo manual el operario la pone en marcha o la para con los botones, útil para las sesiones de prueba. Mientras que en el modo automático es un reloj horario el que decide cuando se arranca y cuando se detiene.

Al margen de la posición del selector, se han previsto dos elementos de seguridad que actúan siempre: un pulsador Q1 tipo seta para paradas de emergencias, y el contacto del relé térmico al motor, que detiene la bomba automáticamente si detecta sobrecarga.

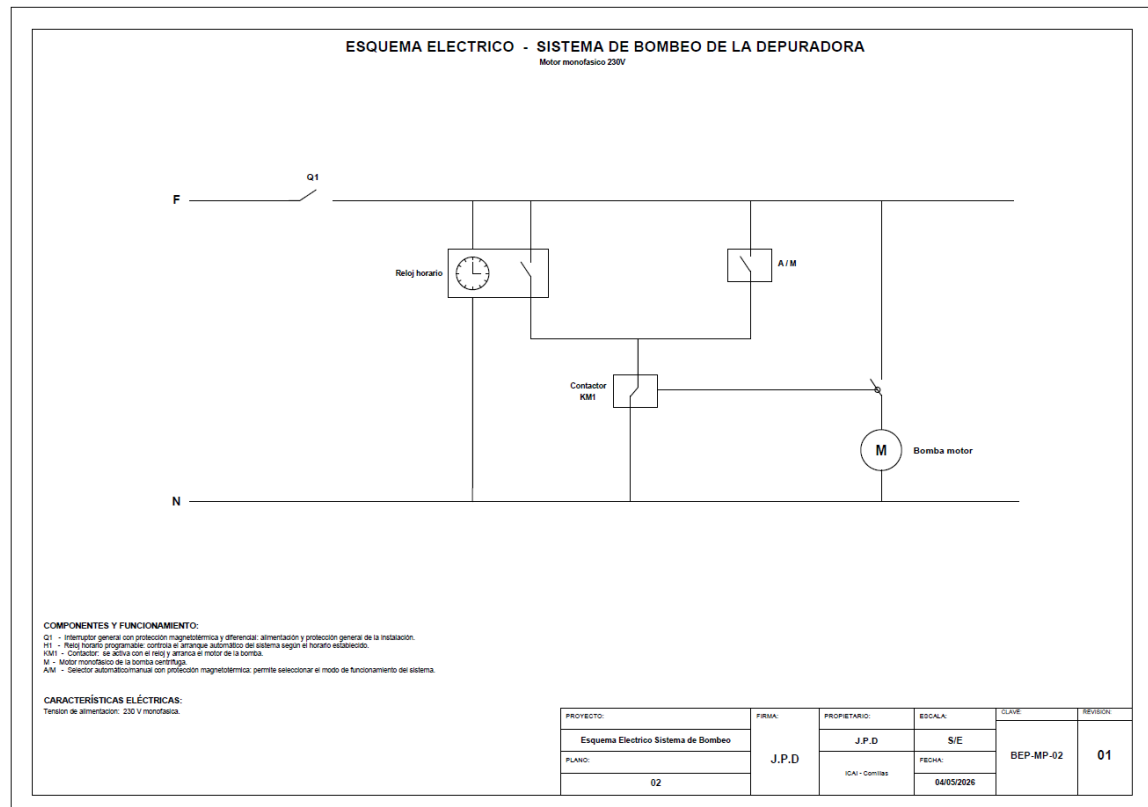


Figura 48. Esquema eléctrico del sistema de bombeo de la depuradora

Por último, el esquema del caudalímetro es el encargado de medir el caudal de salida de cisterna del ensayo. El elemento principal es el caudalímetro electromagnético SIEMENS Sitrans FM. Para garantizar la medida, se monta respetando un tramo recto antes y después del sensor, de modo que el flujo llegue estabilizado y sin turbulencias.

La señal es una señal analógica de 4-20 mA que se envía al equipo de adquisición de datos, y desde ahí al ordenador donde el software registra la evolución del caudal con el tiempo tal y como exige la norma.

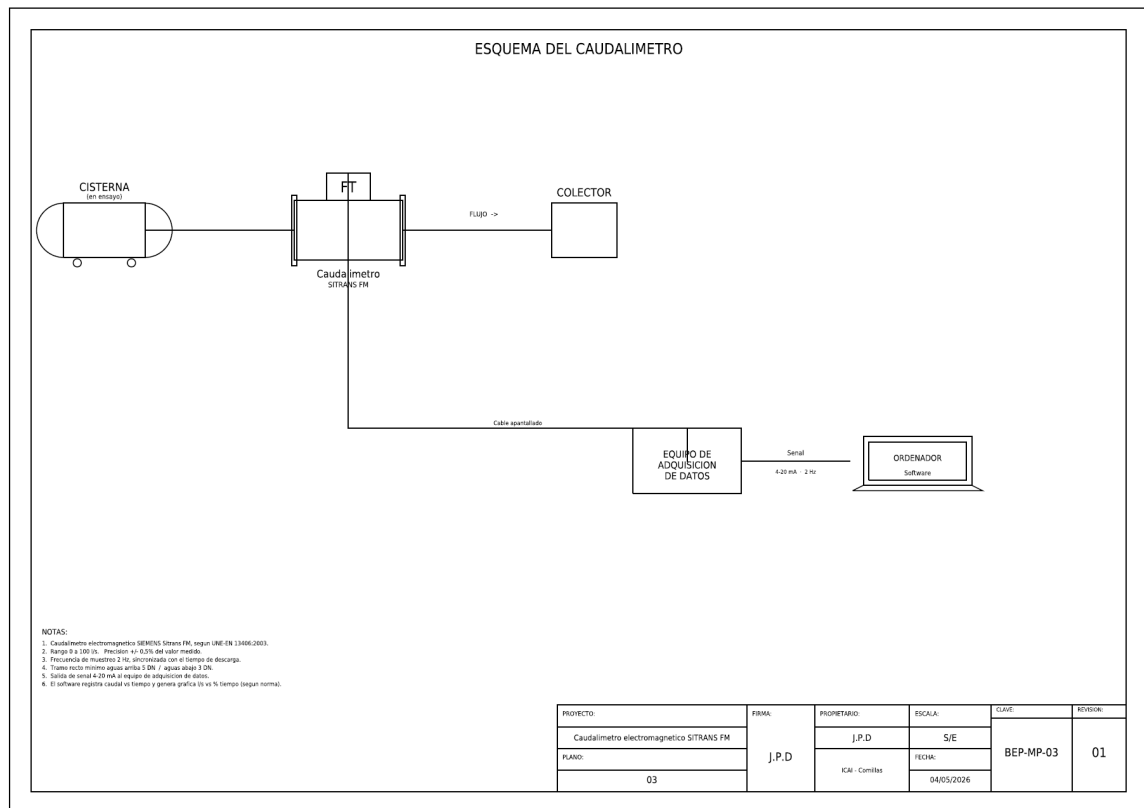


Figura 49. Esquema del caudalímetro y de la cadena de adquisición de datos.

Capítulo 7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Este capítulo recoge una estimación económica del banco de ensayos desarrollado. El objetivo es realizar el coste aproximado de implantación del banco y el coste asociado a la realización de cada ensayo.

Para ello, se ha elaborado un modelo en Excel en el que se diferencian dos tipos de costes: CAPEX y OPEX. A partir de estos valores se calcula el coste anual equivalente y el coste medio por ensayo. Este resultado permite tener una referencia sencilla del coste de uso del banco a lo largo de su vida útil.

7.1 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

La metodología se basa en separar los costes en dos bloques. El primero es el CAPEX, que corresponde a la inversión inicial necesaria para construir e instalar el banco de ensayos. En este apartado se incluyen los costes de la estructura mecánica, las cubetas, la instrumentación, el sistema hidráulico, la electrónica auxiliar y el montaje.

El segundo bloque es el OPEX, que recoge los costes anuales de funcionamiento. En este caso se consideran la mano de obra necesaria para realizar los ensayos, el consumo eléctrico, el agua, los materiales, el mantenimiento y las calibraciones de los equipos de medida.

Una vez definidos estos costes, la inversión inicial se reparte a lo largo de la vida útil estimada del banco. Y se calcula el coste anual y el coste por ensayo de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación 1. } \textit{Coste Anual} = \textit{CAPEX anualizado} + \textit{OPEX}$$

$$\text{Ecuación 2. } \textit{Coste por ensayo} = \frac{\textit{Coste Anual}}{\textit{N}^\circ \textit{ de ensayos}}$$

Este planteamiento permite obtener una valoración económica sencilla para el alcance del proyecto, sin necesidad de desarrollar un análisis financiero avanzado.

7.2 *INPUTS DEL MODELO*

Para realizar el análisis económico se han definido una serie de datos de entrada en el modelo Excel. Estos inputs permiten calcular el coste anual del banco y, posteriormente, el coste medio por ensayo. Los datos se han dividido en dos grupos: parámetros financieros y parámetros operativos.

7.2.1 PARÁMETROS FINANCIEROS

Los parámetros financieros utilizados en el modelo se recogen en la siguiente Tabla. Estos valores permiten anualizar la inversión inicial y obtener una referencia económica comparable con los costes anuales de operación.

PARÁMETROS FINANCIEROS		
Parámetro	Valor	Unidad
Tasa de descuento WACC	6,0	%
Vida útil del banco (N)	15	años
Tasa crecimiento nominal OPEX (g)	2,0	%
Año de referencia	2026	año

Tabla 15. Parámetros financieros

La vida útil del banco se ha fijado en 15 años, al tratarse de una instalación con componentes mantenibles y sustituibles. La tasa de descuento del 6,0 % se utiliza para repartir la inversión inicial a lo largo de la vida útil del proyecto. Por su parte, la tasa de crecimiento nominal del 2,0 %, está estimada a la según la inflación de España. Todos los importes del modelo se han referido al año 2026.

7.2.2 PARÁMETROS OPERATIVOS

Los parámetros operativos se muestran en la siguiente Tabla. Estos datos permiten estimar los costes de funcionamiento del banco y calcular el coste medio por ensayo.

PARÁMETROS OPERATIVOS		
Parámetro	Valor	Unidad
Ensayos por año (escenario base)	50	ensayos/año
Horas por ensayo (duración)	8	h/ensayo
Técnicos por ensayo	1	personas
Coste hora técnico (coste empresa)	35,00 €	€/h
Consumo eléctrico por ensayo	15	kWh/ensayo
Precio electricidad	0,18 €	€/kWh
Material fungible por ensayo	5,00 €	€/ensayo

Tabla 16. Parámetros operativos

El escenario base considera 50 ensayos al año, lo que equivale aproximadamente a un ensayo por semana del año. Para cada ensayo se estima una jornada completa de trabajo realizada por un técnico cualificado. Además, el coste horario se ha considerado como coste empresa. El consumo eléctrico se asocia principalmente al bombeo, al sistema de adquisición de datos y a la iluminación, mientras que el material fungible recoge piezas consumibles como filtros, juntas y productos auxiliares necesarios durante la operación del banco.

7.3 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Una vez definidos los parámetros del modelo, se estima el presupuesto del banco de ensayos diferenciando entre la inversión inicial CAPEX y los costes anuales de funcionamiento OPEX.

El objetivo de este apartado es presentar una visión resumida de los principales bloques económicos del proyecto, mostrando los resultados agrupándolos por los subsistemas correspondientes al banco de ensayos.

7.3.1 INVERSIÓN INICIAL (CAPEX)

El CAPEX incluye los costes necesarios para adquirir, fabricar, montar e integrar los principales elementos del banco de ensayos. Las partidas se han agrupado por subsistemas en la siguiente Tabla para mantener una visión global del presupuesto.

PRESUPUESTO DE INVERSIÓN (CAPEX)		
Subsistema	Descripción	Coste (€)
Estructura mecánica y soporte	Cubetas, perfilera, grúa móvil, patines, ruedas y elementos de soporte	11.287,17
Instrumentación y adquisición de datos	Caudalímetro, sistema de pesaje y tarjeta de adquisición de datos	3.481,75
Infraestructura hidráulica	Depósito, sistema de filtración, válvulas, racores y accesorios hidráulicos	4.751,65
Electrónica auxiliar, montaje e integración	Fuente de alimentación, caja estanca, cableado, montaje e integración del conjunto	1.574,61
SUBTOTAL (SIN IMPREVISTOS)		21.095,18
Imprevistos	5% del total	1.054,76
TOTAL CAPEX sin IVA		22.149,94
IVA	21%	4.651,49
TOTAL CAPEX con IVA		26.801,43

Tabla 17. Resumen del CAPEX por subsistemas

La mayor parte de la inversión corresponde a la estructura mecánica y de soporte, ya que incluye las cubetas de recogida y los elementos del banco completo. La instrumentación y la infraestructura hidráulica también supone una partida relevante, al incluir los equipos necesarios para medir el caudal, pesar las cubetas y equipos para recircular y filtrar el agua del ensayo. El resto de la inversión se reparte entre la electrónica auxiliar y las tareas de montaje e integración.

7.3.2 COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (OPEX)

El OPEX recoge los costes anuales necesarios para utilizar y mantener el banco de ensayos. En este caso se incluyen tanto costes variables, asociados al número de ensayos realizados, como costes fijos anuales, necesarios para mantener la instalación operativa.

COSTES OPERATIVOS ANUALES (OPEX)		
A) COSTES VARIABLES		
Concepto	Base de cálculo	Coste Anual (€)
Mano de obra técnica	Horas × Coste/h × Ensayos/año	14.000,00
Energía eléctrica	kWh/ensayo × €/kWh × Ensayos/año	135,00
Material fungible	€/ensayo × Ensayos/año	250,00
B) COSTES FIJOS ANUALES		
Mantenimiento preventivo	2 % del CAPEX sin IVA	443,00
Seguro de instalación	Estimación anual	300,00

Servicios auxiliares	Agua y otros servicios	200,00
TOTAL OPEX ANUAL		15.328,00 €

Tabla 18. Resumen del OPEX anual

El principal coste de operación es la mano de obra técnica, ya que cada ensayo requiere la preparación del banco, la ejecución de la prueba y el registro de los resultados. En comparación, el coste energético y el material fungible tienen un peso reducido. También se incluye una partida de mantenimiento preventivo para conservar los equipos y evitar desviaciones en el funcionamiento del banco durante su vida útil.

7.4 *COSTE ANUAL EQUIVALENTE Y COSTE POR ENSAYO*

Una vez estimados el CAPEX y el OPEX del banco de ensayos, se calcula el coste anual equivalente de la instalación utilizando las ecuaciones mencionadas al principio del capítulo. Este valor permite expresar en términos anuales tanto la inversión inicial como los costes de operación y mantenimiento.

Para ello, se anualiza tanto el CAPEX como el OPEX mediante el factor de amortización (f_a) y el factor de acumulación OPEX (f_Σ), calculados de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación 3. } f_a = \frac{i(1+i)^N}{i(1+i)^N - 1}$$

$$\text{Ecuación 4. } f_\Sigma = \frac{1 - \left(\frac{1+g}{1+i}\right)^N}{i-g}$$

Los resultados obtenidos para el escenario base se muestran en la siguiente Tabla:

COSTE NORMALIZADO POR ENSAYO Y CAE		
PARÁMETROS		
Concepto	Valor	Unidad
CAPEX total (sin IVA)	22.149,94	€
OPEX anual año 1	15.328,00	€/año
Factor de amortización (f_a)	0,1030	-
Factor de acumulación OPEX (f_Σ)	10,9604	-
CÁLCULO DEL COSTE ANUAL EQUIVALENTE (CAE)		

Coste anual CAPEX amortizado	2.280,62	€/año
Coste anual OPEX equivalente	17.297,85	€/año
COSTE ANUAL EQUIVALENTE TOTAL (CAE)	19.578,47	€/año
Ensayos por año	50	ensayos
COSTE NORMALIZADO POR ENSAYO	391,57	€/ensayo

Tabla 19. Cálculo del coste anual equivalente y del coste medio por ensayo

El cálculo parte del CAPEX total sin IVA, que representa la inversión inicial necesaria para ejecutar el banco de ensayos. Esta inversión se anualiza multiplicándola por el factor de amortización f_a . A continuación, el OPEX anual del primer año se proyecta durante la vida útil del banco mediante el factor de acumulación f_{Σ} , y posteriormente se anualiza también con el factor f_a . La suma de ambas partidas da lugar a un coste anual equivalente total de 19.578,47 €/año. Finalmente, al dividir este valor entre los 50 ensayos considerados en el escenario base, se obtiene un coste normalizado de 391,57 €/ensayo.

7.5 CONCLUSIONES ECONÓMICAS

El análisis económico permite estimar el coste de implantación y utilización del banco de ensayos de forma sencilla y coherente con el alcance del proyecto. La inversión inicial considerada asciende a 22.149,94 € sin IVA, mientras que el coste anual de operación del primer año se estima en 15.328,00 €/año, siendo la mano de obra técnica la partida más relevante.

A partir de estos valores, se obtiene un coste anual equivalente de 19.578,47 €/año y un coste normalizado de 391,57 €/ensayo para un escenario base de 50 ensayos anuales. Este resultado muestra que el coste unitario del ensayo depende principalmente del grado de utilización del banco.

Capítulo 8. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente capítulo recoge la planificación seguida para el desarrollo y ejecución del banco de ensayos para cisternas de purines, desde el análisis inicial de requisitos hasta la puesta en marcha y entrega en las instalaciones de la Estación de Mecánica Agrícola. El proyecto se estructuró en siete fases con un plazo total de seis meses desde la adjudicación del contrato, tal y como establece el Pliego de Prescripciones Técnicas [3]. Dada la naturaleza del trabajo, varias fases se solapan entre sí con el fin de optimizar los tiempos de ejecución.

Fase 1 — Análisis de requisitos y estudios previos. Lectura del Pliego, estudio de la norma UNE-EN 13406:2003, estudio de mercado de cisternas y definición de requisitos técnicos del banco.

Fase 2 — Diseño técnico completo. Diseño mecánico CAD de todos los subsistemas (colector, cubetas, grúa, bombeo, depósitos), esquemas hidráulicos y eléctricos, arquitectura del software.

Fase 3 — Aprovisionamiento de componentes normalizados. Pedido y recepción de los elementos comerciales: caudalímetro Siemens FM520, células de carga, bomba centrífuga, filtro, válvula de 6 posiciones, depósitos de 10.000 L entre otros.

Fase 4 — Obra civil. Movimiento de tierras, solera de hormigón, paredes del colector, impermeabilización con fibra de vidrio MAT 450 y gelcoat náutico, conexión a red de saneamiento.

Fase 5 — Fabricación de elementos a medida. Fabricación de las cubetas, estructura de grúa móvil, tapas del colector, racores y adaptadores del caudalímetro.

Fase 6 — Montaje e instalación. Integración de todos los subsistemas: instalación hidráulica, eléctrica, montaje mecánico y carga del software en el equipo de adquisición.

Fase 7 — Puesta en marcha, validación y formación. Ensayos de funcionamiento, validación metrológica según norma, formación del personal de la EMA y entrega de documentación técnica.

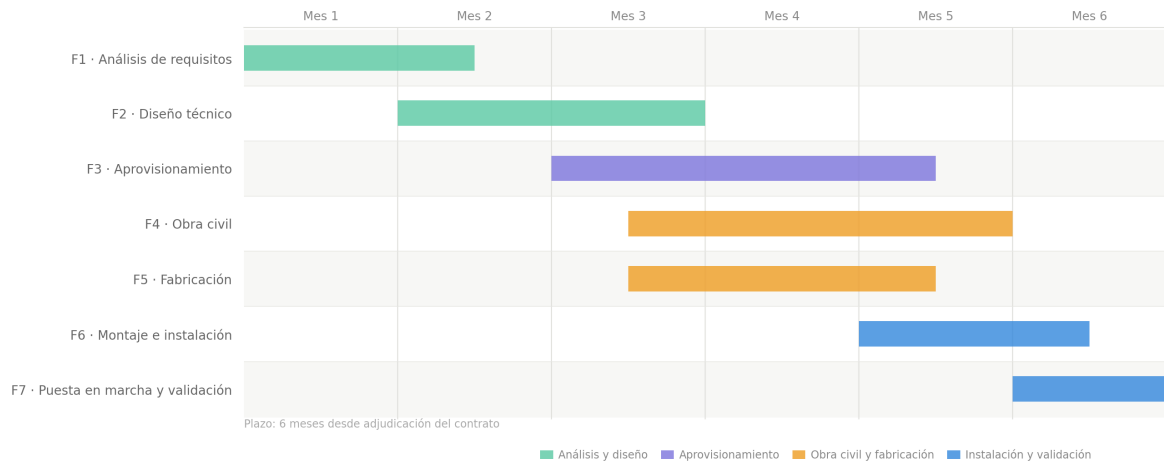


Figura 50. Diagrama de Gantt sobre la planificación del proyecto

Capítulo 9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este capítulo recoge las principales conclusiones obtenidas tras el diseño y desarrollo del banco de ensayos para cisternas esparcidoras de purines, conforme a la norma UNE-EN 13406:2003 [2] y a los requisitos establecidos por la Estación de Mecánica Agrícola y el Pliego de Prescripciones Técnicas del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [3]. A lo largo del trabajo se han abordado de forma íntegra el diseño mecánico del sistema, la infraestructura necesaria, la instrumentación, la adquisición de datos, el software de ensayo, la documentación técnica CAD y el análisis económico de implantación. Las conclusiones se estructuran en cinco bloques: cumplimiento de los objetivos técnicos, valoración económica de la solución, aportaciones del proyecto, limitaciones identificadas y posibles líneas de trabajo futuras.

9.1 CONCLUSIONES TÉCNICAS

El objetivo general del proyecto era diseñar un banco de ensayos según norma capaz de evaluar la distribución longitudinal y transversal de cisternas esparcidoras de purines en condiciones controladas, repetibles y conformes con la norma UNE-EN 13406:2003 [2]. A continuación, se analiza el grado de cumplimiento de los cinco objetivos específicos planteados en el Capítulo 1.

Objetivo 1 – Diseño mecánico del banco de ensayos

Se ha desarrollado el diseño mecánico de los principales subsistemas del banco, incluyendo el colector, las cubetas de recogida, la grúa móvil de pesaje y el sistema hidráulico. El colector se ha definido con unas dimensiones de $20 \times 2 \times 0,5$ m, revestimiento impermeable, canaleta de desagüe con pendiente y tapa rígida de protección. También se han diseñado 60 cubetas con válvulas de vaciado y cáncamos de elevación, junto con una grúa móvil equipada con mástil, guías lineales y soporte para célula de carga, permitiendo el pesaje secuencial de las cubetas. Además, el sistema hidráulico, compuesto por bomba centrífuga, válvula de seis

posiciones, filtración y depósito de 20.000 litros, permite el llenado de la cisterna y la recirculación del fluido.

Objetivo 2 – Sistema de medición y análisis de distribución

Se ha definido un sistema de medición completo para registrar los datos necesarios durante los ensayos. Para el ensayo longitudinal se ha seleccionado un caudalímetro electromagnético Siemens Sitrans FM, con un rango de 0 a 100 l/s y una frecuencia de adquisición de 2 Hz, cumpliendo con los requisitos del Pliego de Prescripciones Técnicas. Para el ensayo transversal se ha definido una célula de carga UTILCELL M610 de 250 kg, adecuada para el pesaje individual de cada cubeta. El sistema de adquisición integra las señales de caudal y masa, que posteriormente son tratadas por el software de ensayo. Este software calcula de forma automática los parámetros establecidos por la norma UNE-EN 13406:2003, como el caudal característico, la zona de tolerancia, el porcentaje de tiempo dentro de tolerancia, la desviación media transversal y el veredicto de conformidad.

Objetivo 3 – Definición de las necesidades de obra civil

Se han establecido las actuaciones necesarias para la implantación del banco en la EMA. Entre ellas se incluyen el foso colector, la impermeabilización del fondo y de las paredes, la canaleta de recogida, la arqueta de aspiración, la plataforma exterior y los postes de seguridad. También se han considerado los puntos de conexión eléctrica y las consideraciones necesarias para el cableado y las tuberías.

Objetivo 4 – Viabilidad técnica y económica

El banco se ha dimensionado para trabajar con cisternas de hasta 12 bocas de salida, anchuras de trabajo de hasta 6 metros y caudales de hasta 100 l/s. Estos valores permiten cubrir el rango de funcionamiento de los principales fabricantes analizados en el estudio de mercado del Capítulo 3. La viabilidad económica se desarrolla con mayor detalle en el apartado 9.2 de este capítulo.

Objetivo 5 – Seguridad, funcionalidad y fiabilidad

Se han identificado los principales riesgos asociados al uso del banco y se han incorporado medidas de seguridad para abordarlos. Entre ellas destacan la delimitación del colector mediante postes metálicos y cadenas, la tapa rígida de protección para evitar caídas, las protecciones eléctricas del circuito mediante diferencial y magnetotérmico, y el dosificador de cloro integrado en el sistema de filtración para mantener el fluido en condiciones adecuadas. Estas medidas permiten mejorar la seguridad de operación y cumplir con la normativa de prevención de riesgos laborales.

Como validación global del sistema, se realizó el ensayo simulado con una cisterna representativa Joskin Modulo2 14000 TS, de 12 bocas de salida y 6 metros de anchura de trabajo. El resultado fue un veredicto global de CONFORMIDAD según la norma UNE-EN 13406:2003. En el ensayo longitudinal se obtuvo un 91,7 % del tiempo de descarga dentro de la zona de tolerancia de ± 15 %, superando el mínimo normativo del 90 %, con un caudal característico de 72,23 kg/s. En el ensayo transversal, la desviación media entre salidas fue del 7,48 %, por debajo del límite máximo del 15 %. Estos resultados confirman el correcto funcionamiento conceptual del banco de ensayos y del software, aunque deberán verificarse posteriormente con una validación real.

9.2 CONCLUSIONES ECONÓMICAS

El análisis económico realizado en el Capítulo 7. permite concluir que la implantación del banco de ensayos es viable dentro del alcance previsto. La inversión inicial estimada asciende a 22.149,94 € sin IVA y 26.801,43 € con IVA, incluyendo una partida de imprevistos del 5 %. El mayor peso económico corresponde a la estructura mecánica y de soporte, con 11.287,17 €, seguida de la infraestructura hidráulica, la instrumentación y la electrónica auxiliar. Esta distribución muestra que el coste principal del banco se concentra en los elementos mecánicos, las cubetas, la grúa móvil y los componentes necesarios para el manejo del fluido.

Los costes anuales de operación y mantenimiento se han estimado en 15.328 €/año para un escenario base de 50 ensayos anuales. La partida más relevante es la mano de obra técnica, con 14.000 €/año, mientras que el consumo energético y el material fungible tienen un peso mucho menor. Esto indica que el coste de funcionamiento depende principalmente del número de ensayos realizados y del tiempo necesario para operar el banco.

Aplicando una vida útil de 15 años y una tasa de descuento del 6 %, se obtiene un coste anual equivalente de 19.578,47 €/año. En el escenario base, esto supone un coste normalizado de 391,57 €/ensayo. Este valor demuestra que el banco resulta económicamente razonable siempre que tenga un nivel de uso suficiente, ya que una mayor actividad permitiría repartir mejor los costes fijos y reducir el coste unitario por ensayo. En conjunto, la solución diseñada presenta una relación coste-prestaciones adecuada y coherente con los requisitos técnicos y normativos del proyecto.

9.3 APORTACIONES DEL PROYECTO

Además del cumplimiento de los objetivos planteados, el proyecto aporta una solución técnica completa para el ensayo de cisternas esparcidoras de purines conforme a la norma UNE-EN 13406:2003 [2] y a los requisitos del Pliego de Prescripciones Técnicas del Ministerio de Agricultura [3]. El banco diseñado permite a la Estación de Mecánica Agrícola disponer de una instalación para realizar ensayos de distribución longitudinal y transversal en condiciones controladas, lo que supone una mejora frente a la limitada disponibilidad de este tipo de infraestructuras.

Una de las principales aportaciones del trabajo es el desarrollo de un sistema integrado que combina diseño mecánico, infraestructura hidráulica, instrumentación, adquisición de datos y software de ensayo. Esta integración permite que el banco no solo recoja y mida el fluido, sino que también procese los resultados y facilite el veredicto de conformidad.

También destaca el desarrollo del software específico del banco, diseñado para configurar el ensayo, registrar los datos de caudal y masa, realizar los cálculos exigidos por la norma y

generar los informes de resultados. Al estar adaptado al procedimiento de ensayo de la UNE-EN 13406:2003, constituye una herramienta útil y reutilizable para futuras pruebas o mejoras del sistema.

Por último, el proyecto aporta una documentación técnica completa del banco, incluyendo modelos CAD, planos de fabricación, planos de conjunto, esquemas hidráulicos y eléctricos. Esta documentación facilita la fabricación, montaje y puesta en marcha del banco, y puede servir como base para futuros desarrollos de bancos de ensayo similares aplicados a otra maquinaria agrícola.

9.4 LIMITACIONES IDENTIFICADAS

El proyecto presenta algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta para interpretar correctamente los resultados obtenidos y el alcance actual del banco de ensayos.

La principal limitación es que la validación se ha realizado mediante un ensayo simulado que permite comprobar que la cadena de medida y los cálculos del software funcionan de forma coherente con la norma UNE-EN 13406:2003, pero no sustituye a una validación real. Para poder emitir veredictos definitivos sobre una cisterna será necesario instalar físicamente el banco, calibrar los equipos de medida y realizar ensayos con una cisterna real y purín en condiciones representativas.

Otra limitación está relacionada con las propiedades del fluido de ensayo. En el modelo se ha considerado una densidad fija del purín de 1,03 kg/L, aunque en la práctica esta puede variar según su composición, temperatura o grado de dilución. Esta variación puede afectar al cálculo del caudal másico, ya que el caudalímetro mide caudal volumétrico. El diseño actual no incorpora un sistema de medición en línea de densidad ni de control de temperatura, por lo que esta variabilidad deberá controlarse durante la fase de ensayo real.

Por último, existe una limitación de alcance normativo. El banco se ha diseñado para realizar los ensayos de distribución longitudinal y transversal definidos en la norma UNE-EN 13406:2003, que son los exigidos por el Pliego. Sin embargo, no se ha dimensionado para

otros posibles ensayos complementarios, como durabilidad, desgaste, ruido o seguridad activa, que podrían ser necesarios en futuras ampliaciones.

9.5 LÍNEAS DE MEJORA Y TRABAJOS FUTUROS

A partir de las limitaciones identificadas, se plantean varias líneas de mejora que permitirían completar la validación del banco, aumentar su precisión y ampliar sus posibilidades de uso en el futuro.

1. Puesta en marcha, calibración y validación real

La primera línea de trabajo sería la construcción e instalación física del banco, seguida de la calibración del caudalímetro, de las células de carga y la realización de ensayos reales.

2. Validación con purín real o equivalente

Por otro lado, sería necesario realizar ensayos con purín real o con un fluido similar. Esta fase permitiría analizar cómo afectan las propiedades reales del fluido a los resultados obtenidos y ajustar, los procedimientos de ensayo o cálculos del software.

3. Automatización del sistema de pesaje

Una mejora relevante sería automatizar el pesaje de las cubetas. En lugar de pesar cada cubeta individualmente podría incorporarse una célula de carga fija en cada cubeta. Esto permitiría obtener las masas de todas las cubetas de forma simultánea, reduciendo el tiempo del ensayo transversal y disminuyendo la manipulación manual.

4. Ampliación del software a otros ensayos

El software actual está diseñado para aplicar los cálculos de la norma UNE-EN 13406:2003. Como trabajo futuro, podría ampliarse para incorporar otros protocolos de ensayo, nuevas configuraciones de maquinaria agrícola o formatos de informe adaptados a distintas normas.

5. Análisis económico a distintos niveles de uso

Por último, sería recomendable ampliar el análisis económico considerando diferentes escenarios de utilización del banco, por ejemplo 30, 50, 80 y 100 ensayos anuales. Esto permitiría conocer mejor cómo varía el coste por ensayo y ayudaría a tener una mayor rentabilidad de la instalación.

Capítulo 10. BIBLIOGRAFÍA

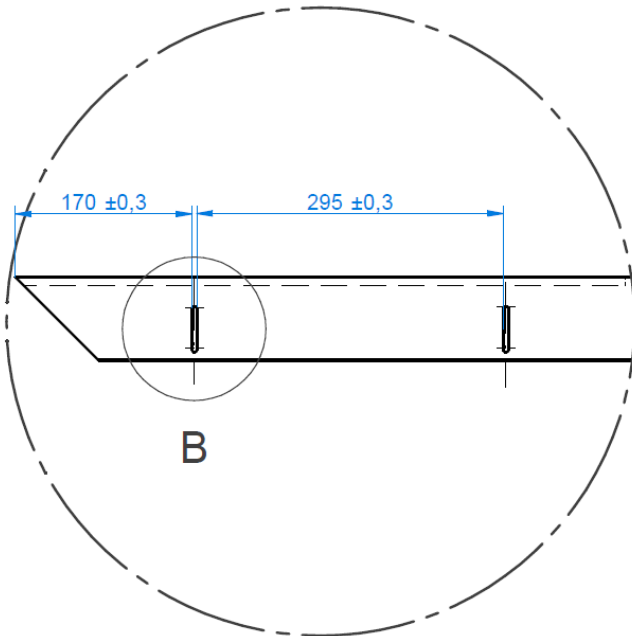
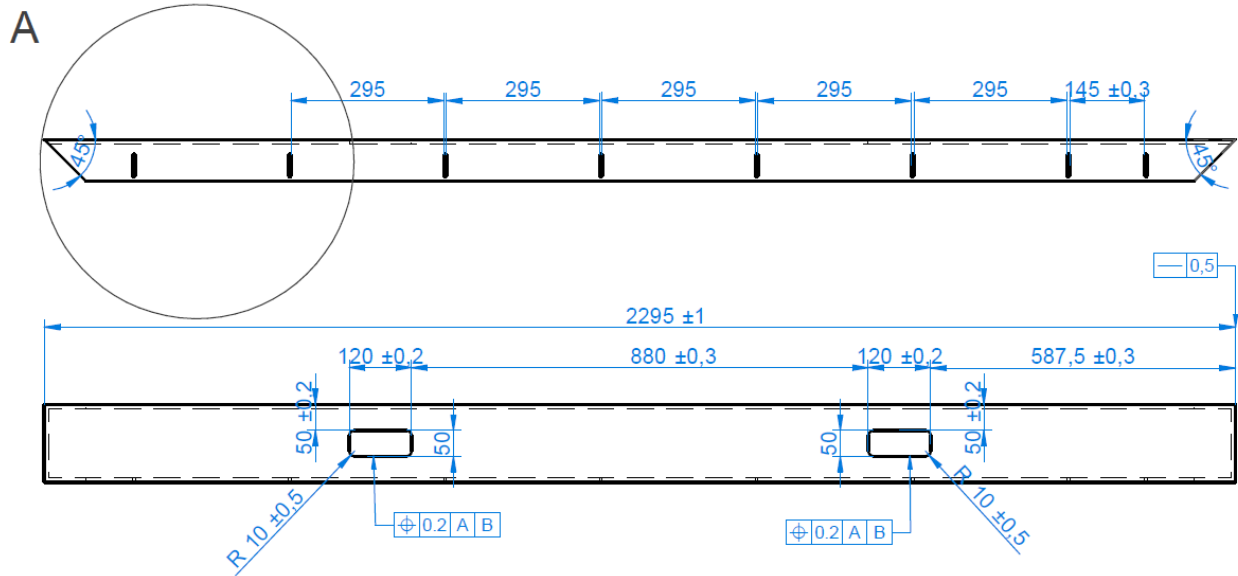
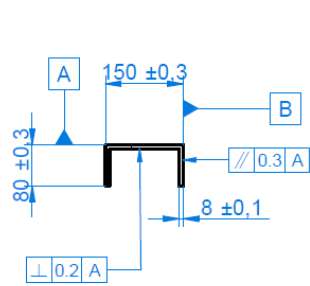
- [1] BOE-A-2020-4666 Real Decreto 448/2020, de 10 de marzo, sobre caracterización y registro de la maquinaria agrícola. (2020, 10 marzo).
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2020/03/10/448/con>
- [2] AENOR. *UNE-EN 13406:2003. Maquinaria agrícola. Cisternas esparcidoras de purín y dispositivos de aplicación. Protección medioambiental. Requisitos y métodos de ensayo para la uniformidad de la distribución*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), 2003.
- [3] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2025). *Pliego de Prescripciones Técnicas para la contratación de un banco de ensayos de distribución longitudinal y transversal para cisternas de purines*. Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios.
- [4] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *UNE-EN ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. Documento técnico de referencia sobre acreditación y competencia de laboratorios. Madrid, 2022.
- [5] Calvo, A. (2021, 9 febrero). Sistemas de aplicación de purines: normativa y cómo elegir el mejor. *Agroptima*. <https://blog.agroptima.com/es/blog/sistemas-de-aplicacion-de-purines-normativa-y-como-elegir-el-mejor/>
- [6] Joskin. (s. f.). JOSKIN - Transporte, esparcimiento y mantenimiento de los pastos. JOSKIN. <https://www.joskin.com/es>
- [7] AG Group. (s. f.). *Cisternas* [Catálogo técnico]. <https://ag-group.es/catalogos/agricola/fertilizacion/CISTERNAS.pdf>
- [8] Pichon Industries. (s. f.). *Pichon Industries - SAMSON AGRO*. Pichon Industries - SAMSON AGRO. <https://www.pichonindustries.fr/es/>
- [9] *Veenhuis Machines BV*. (2026). Agriexpo. <https://www.agriexpo.online/es/prod/veenhuis-machines-bv-170528.html>
- [10] Samson Agro. (s. f.). Soluciones agrícolas innovadoras | SAMSON AGRO. <https://www.samson-agro.com/es/>
- [11] Rigual. (2026, 21 enero). *Amplia gama de cisternas de purín | Rigual*. <https://rigual.es/vehiculos/cisternas-de-purin/>

- [12] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s. f.). *Técnicas recomendadas para la reducción de emisiones de amoníaco* [Tabla técnica]. Gobierno de España.
<https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/ganaderia/temas/ganaderia-y-medio-ambiente/ecogan/listado-registro-ecogan-e-informes/tablamtds.pdf>
- [13] Rigual, S. A. (2020). *Aplicadores de purín de cisternas arrastradas* [Catálogo técnico].
<https://rigual.es/wp-content/uploads/2020/12/Fichas-del-catalogo-Agricola-Aplicadores-de-purin-de-cisternas-arrastradas.pdf>
- [14] Quílez, D. (2020). *Prácticas para una gestión más sostenible del suelo en sistemas agrarios mediterráneos: Claves para mejorar la gestión del purín porcino como fertilizante de los cultivos* [Presentación técnica]. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Gobierno de Aragón.
<https://citarea.cita-aragon.es/server/api/core/bitstreams/7f766bfc-f3a4-4760-b9be-dcf7bcbb0632/content>
- [15] *Cisternas y cisternas agrícolas | Categorías de los productos | Tallers gili, Gili Group, Maquinaria agrícola.* (s. f.). <https://giligroup.com/categoria-producto/cisternas-y-cisternas-agricolas/>
- [16] Agudo, C. (2024, 14 noviembre). *Fabricante cisternas agrícolas.* Cisternas Agudo.
<https://www.cisternasagudo.es/>
- [17] *Cisternas de purín - remolques beguer.* (s. f.). Remolques Beguer.
<https://www.beguer.es/portfolio/cisternas-de-purin/>
- [18] *Aplicación de purines: Normativa y beneficios para la agricultura.* (s. f.). Agrodesguaces.
https://agrodesguaces.com/blog/174_aplicacion-de-purines.html#:~:text=Los%20sistemas%20de%20bandas%20permiten%20la%20aplicaci%C3%B3n,maximiza%20el%20uso%20eficiente%20de%20los%20recursos.
- [19] Galego, C. (2024, 28 agosto). *Así queda la normativa de aplicación de purines y estiércol en el agro - Campo Galego.* Campo Galego. <https://www.campogalego.es/asi-queda-la-normativa-de-aplicacion-de-purines-y-estiercol-en-el-agro/>
- [20] Pérez de Ciriza Gainza, J. J. “Elección de la cisterna de purín y sus equipamientos de reparto”. Navarra Agraria / INTIA. Disponible en:
<https://www.intiasa.es/sites/default/files/2025-11/arcister.pdf>
- [21] BOE-A-1995-24292 Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. (1995, 8 noviembre). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292>

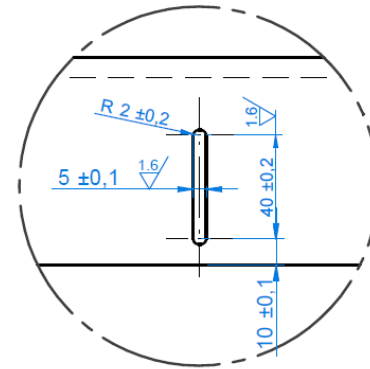
- [22] BOE-A-1997-1853 Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. (1997, 17 enero).
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-1853>

ANEXO I – PLANOS DE DETALLE

01 3.2/ (1.6/)





DETALLE A
ESCALA 1:5



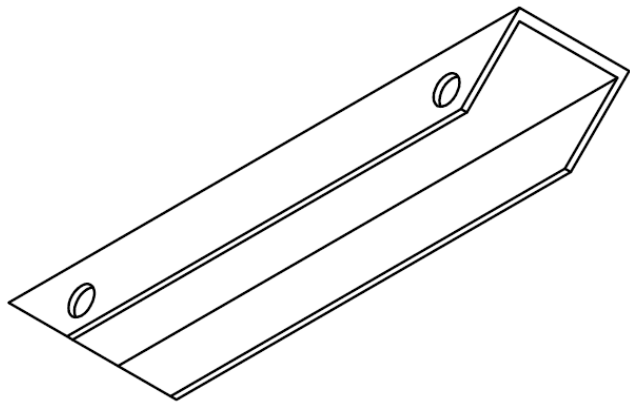
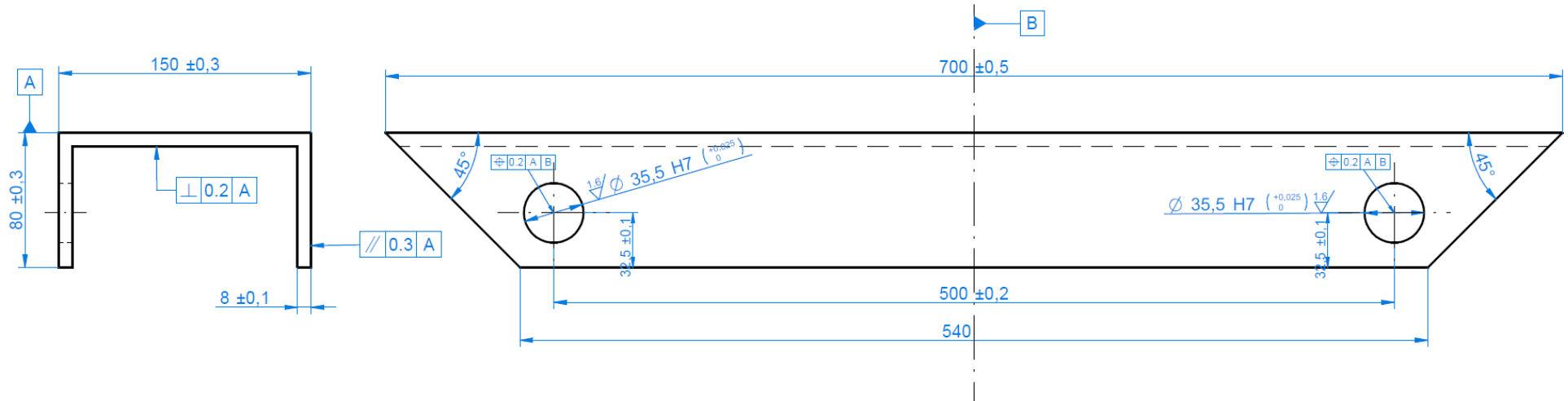
DETALLE B
ESCALA 1:2

Nota: Cotas iguales con misma tolerancia salvo indicación contraria

MATERIAL	Acero F-1140	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Larguero 1
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK			TÍTULO	BASTIDOR
DIBUJADO	J.P.D.C	FECHA	25/02/2026		
COMPROBADO					
ESCALA:	1:10	FIRMA			
					CODIGO PT061.01.01

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

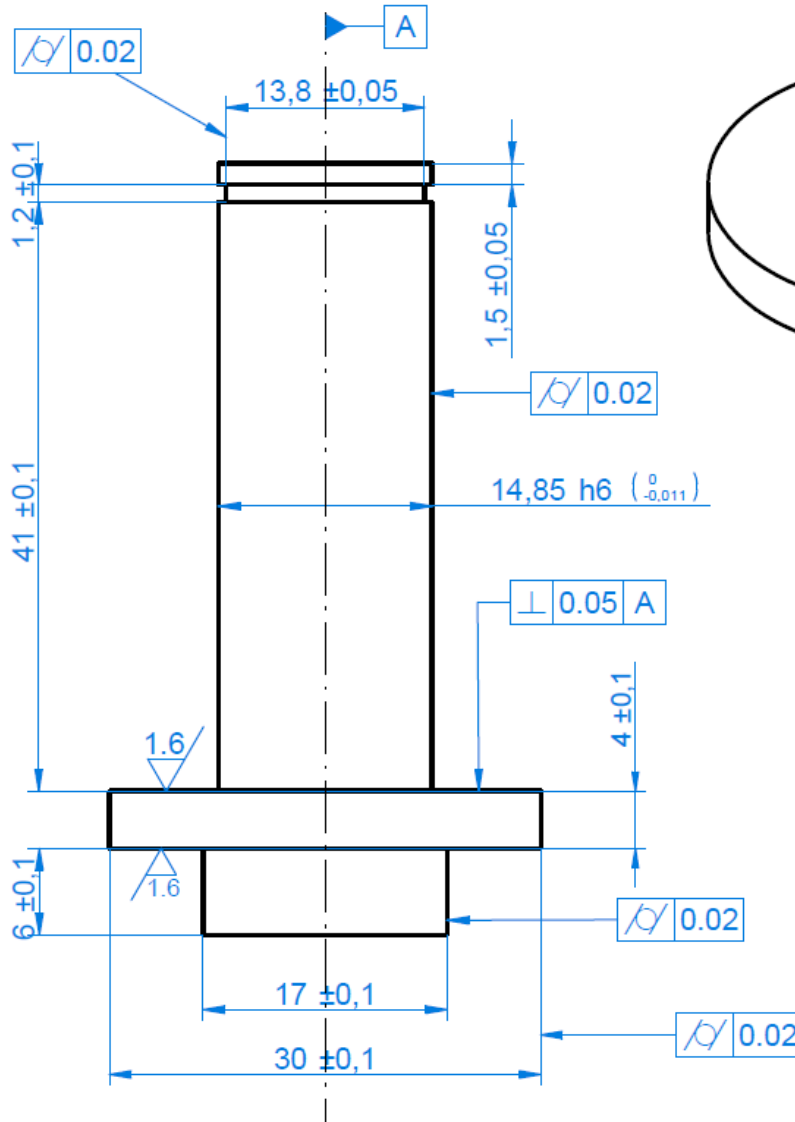
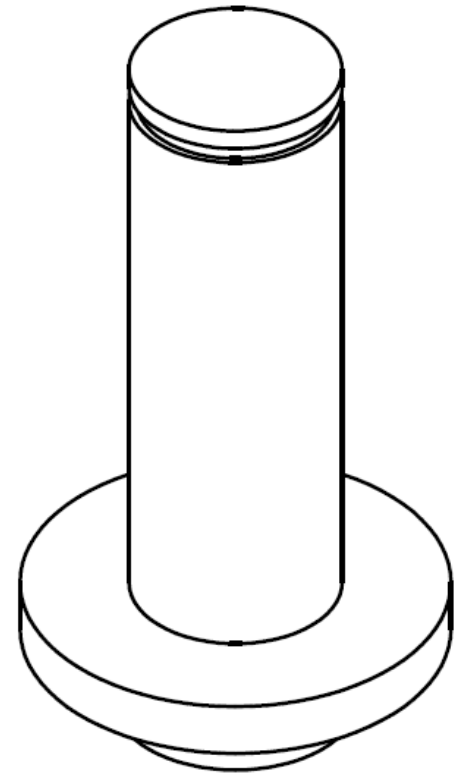
02 $\sqrt{3.2}$ / ($\sqrt{1.6}$)



MATERIAL	Acero F-1140	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Larguero 2
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	NOMBRE	J.P.D.C	FECHA	25/02/2026
DIBUJADO		COMPROBADO		TÍTULO	BASTIDOR
ESCALA:	1:2,5	FIRMA		LOGO	
				CODIGO	PT061.01.02

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

03 $\sqrt{3.2}$ ($\sqrt{1.6}$)



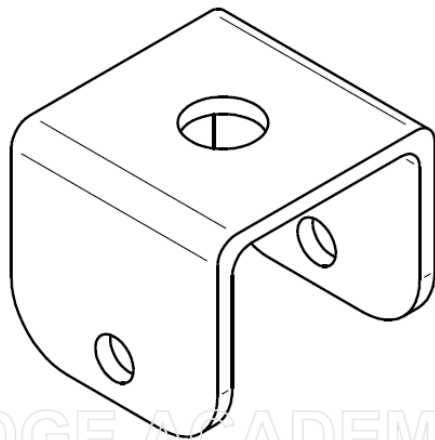
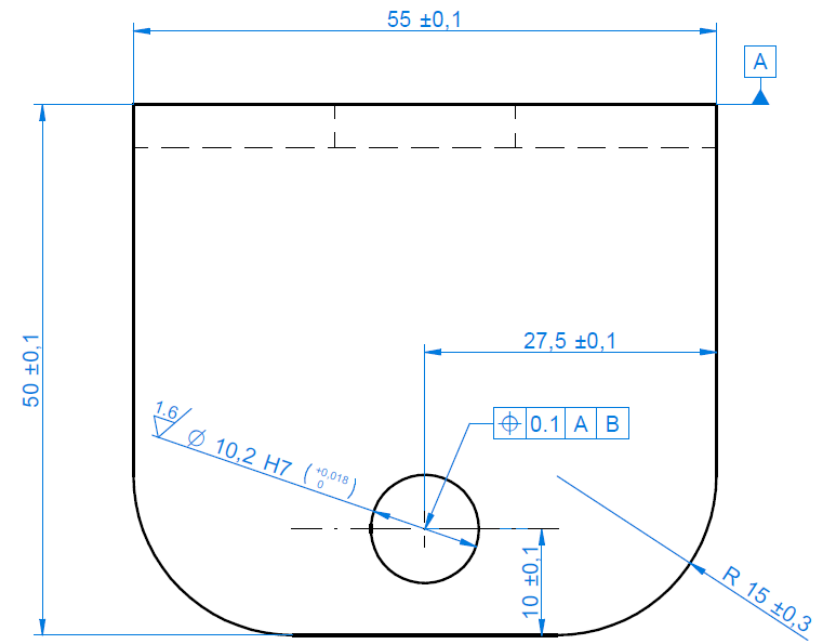
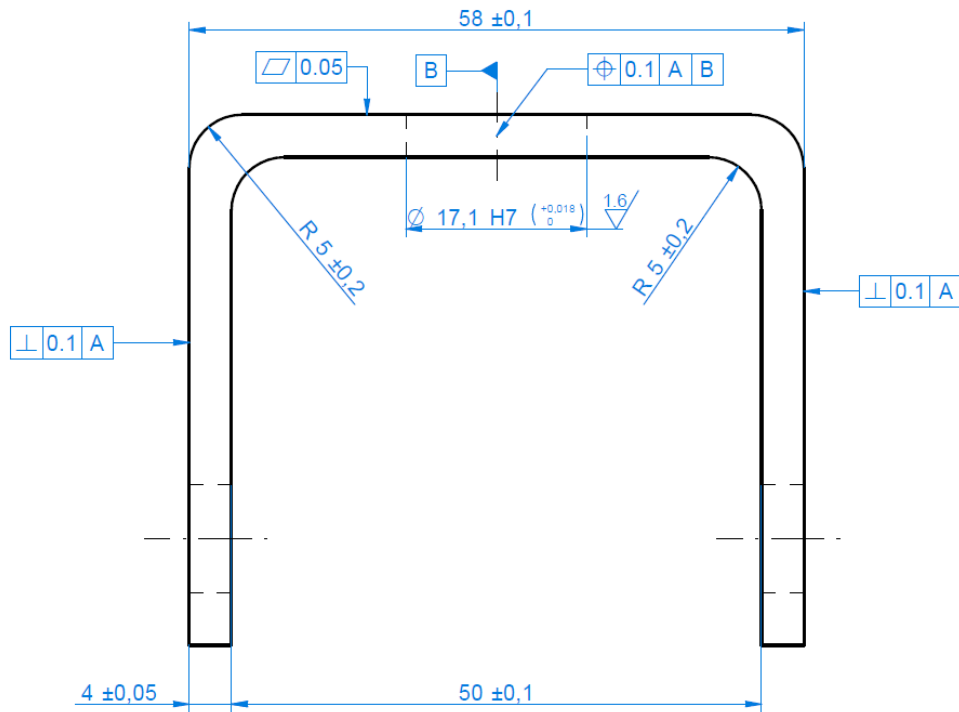
NOTAS:
 1. Rosca no normalizada ISO.
 Ø nominal 14,85 mm, paso 1,5 mm.
 Ejecutar según especificación técnica del cliente.

MATERIAL	Acero F-1250	FORMATO	A4	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Eje Vertical
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK				
NOMBRE		FECHA		TÍTULO	
DIBUJADO	J.P.D.C	25/02/2026		BASTIDOR	
COMPROBADO					
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO	
2:1				PT061.01.03	



COMILLAS
 UNIVERSIDAD PONTIFICIA
 ICAI

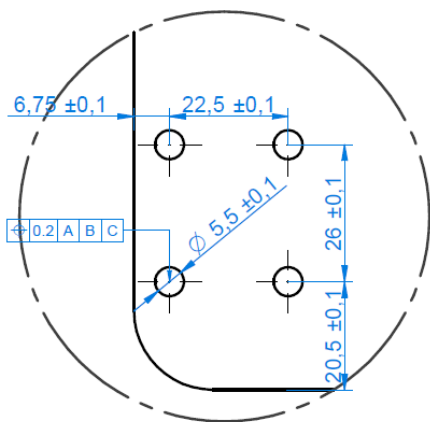
04 $\sqrt{3.2}$ ($\sqrt{1.6}$)



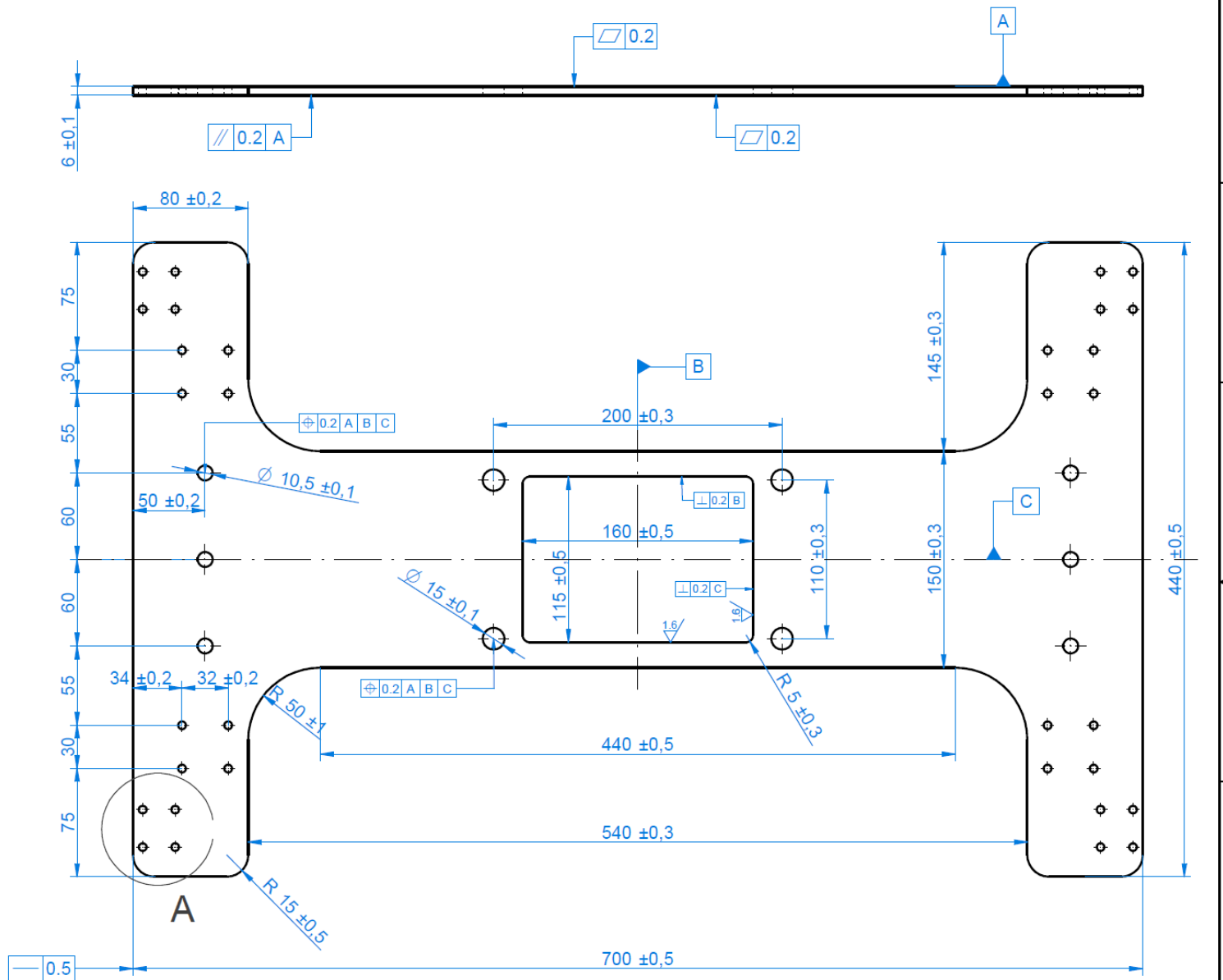
MATERIAL	Acero F-1140	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Soporte Rueda
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK			TÍTULO	BASTIDOR
NOMBRE		FECHA			
DIBUJADO	J.P.D.C	23/03/2026			
COMPROBADO	ESCALA:		FIRMA	CODIGO	
	2:1			PT061.01.04	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

06 $\nabla 3.2 / (1.6)$



DETALLE A
ESCALA 1:1

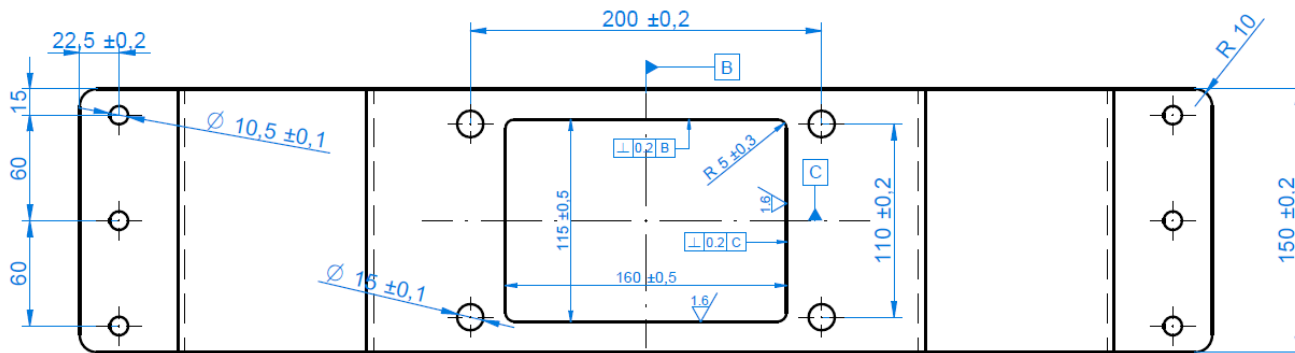
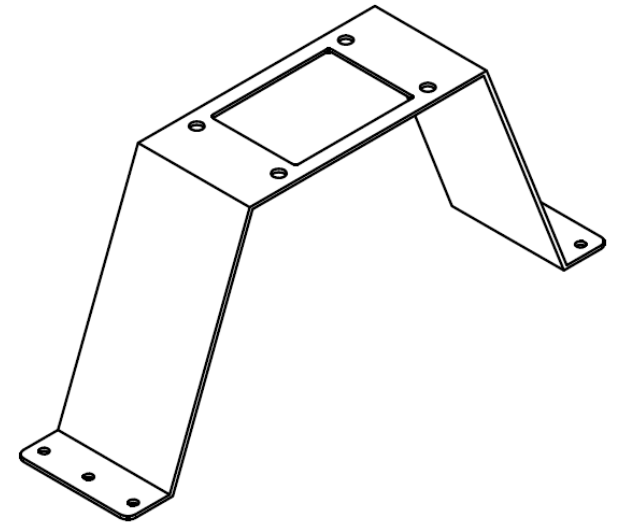
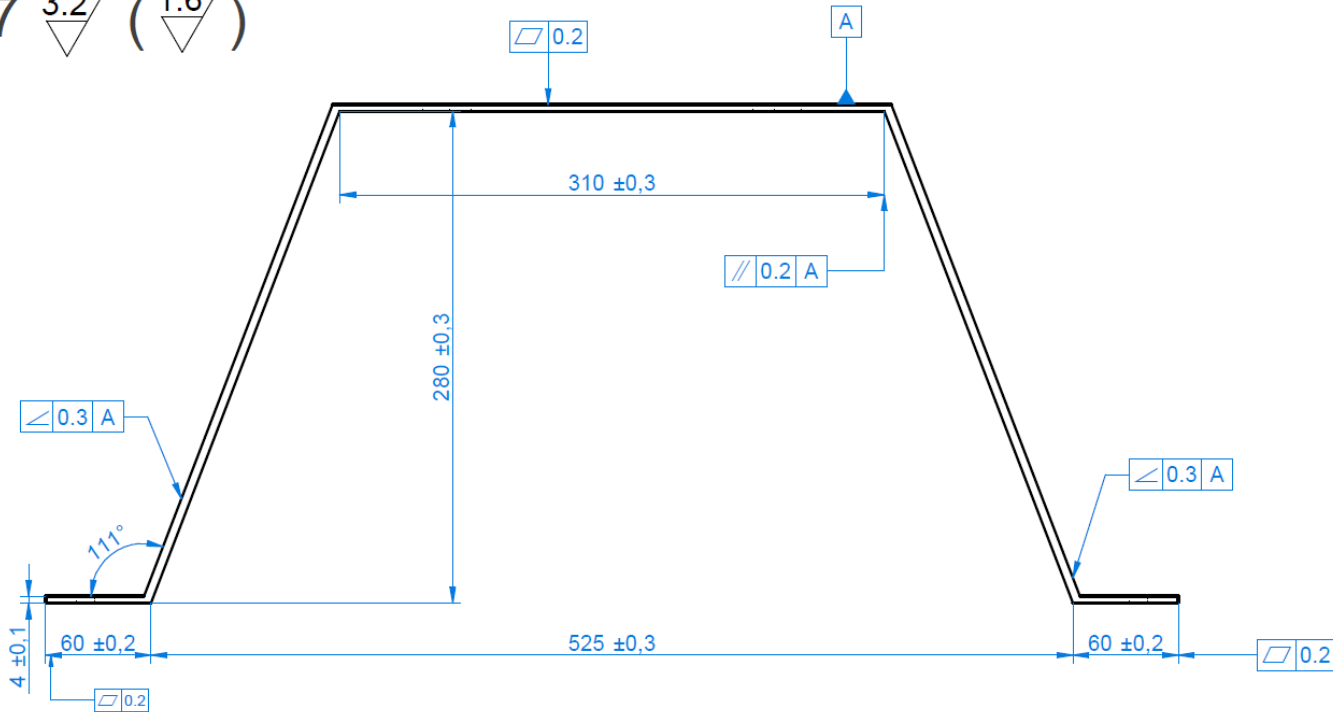


Notas:

1. Los grupos de agujeros Ø5,5 son todos iguales al DETALLE A. Total: 32x Ø5,5 ± 0,1.
2. Total agujeros Ø10,5: 6x Ø10,5 ± 0,1.
3. Total agujeros Ø15: 4x Ø15 ± 0,1.
4. Pieza simétrica respecto ejes B y C.

MATERIAL	Acero F-1250	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Marco Inferior
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	NOMBRE	J.P.D.C	FECHA	13/04/2026
DIBUJADO		COMPROBADO		TÍTULO	CONJUNTO PARTE SUPERIOR
ESCALA:	1:3	FIRMA		CODIGO	PT061.02.02

07 3.2 / (1.6 /)

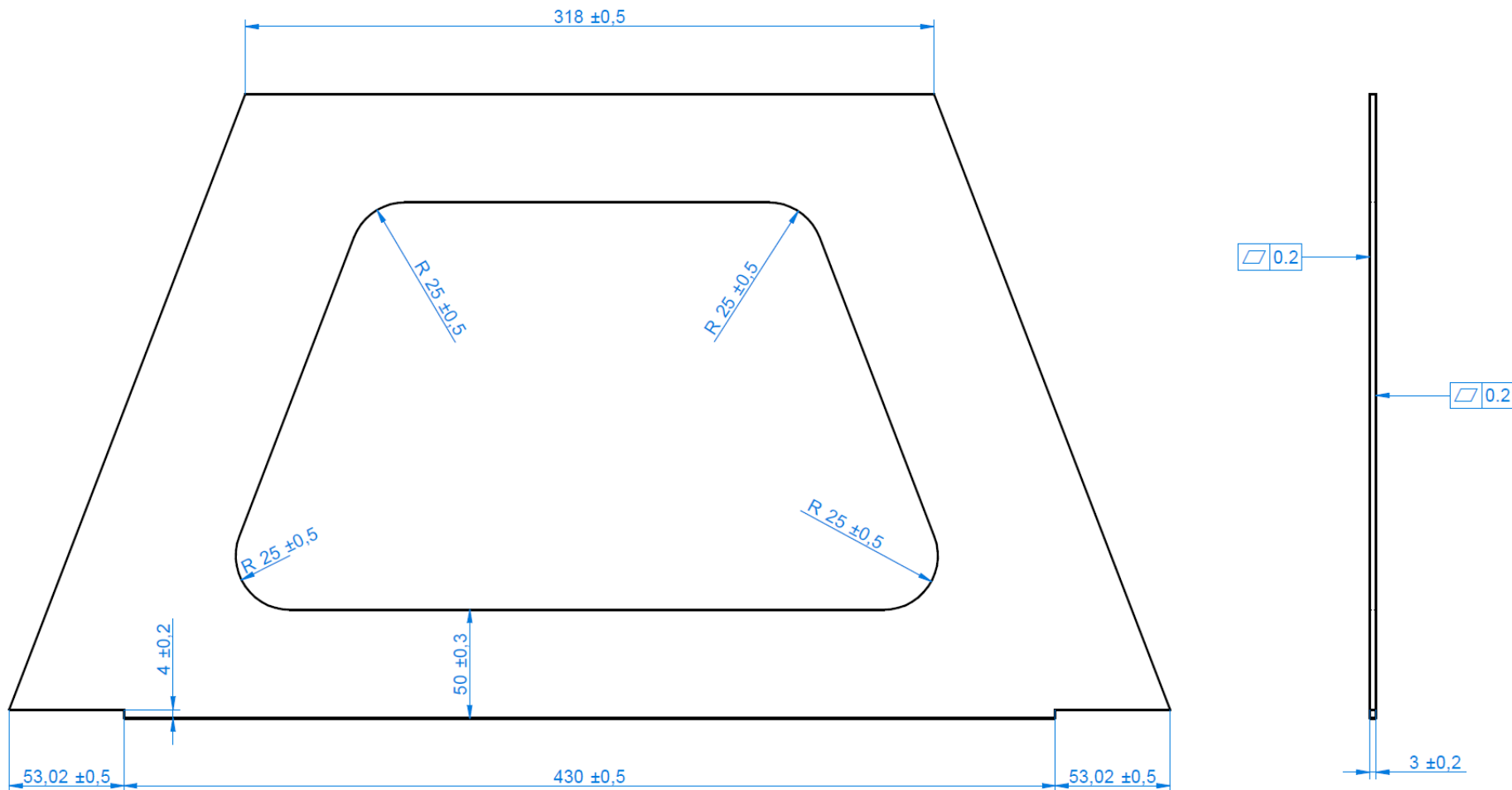


Notas:

1. Total agujeros $\varnothing 10,5$: 6x $\varnothing 10,5 \pm 0,1$.
2. Total agujeros $\varnothing 15$: 4x $\varnothing 15 \pm 0,1$.
3. Pieza simétrica respecto ejes B y C.

MATERIAL	Acero F-1250	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO	Pirámide
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	A3		TÍTULO	CONJUNTO PARTE SUPERIOR
NOMBRE	J.P.D.C	FECHA	13/04/2026		
ESCALA:	FIRMA				CODIGO
1:3				COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI	PT061.02.03

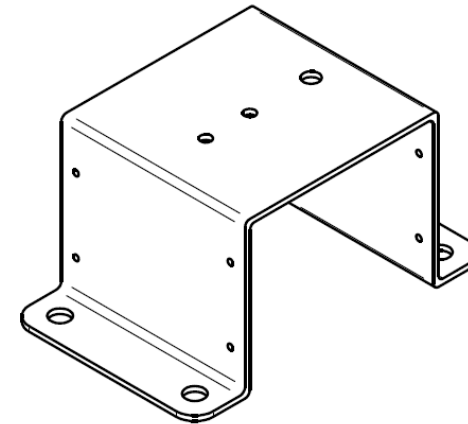
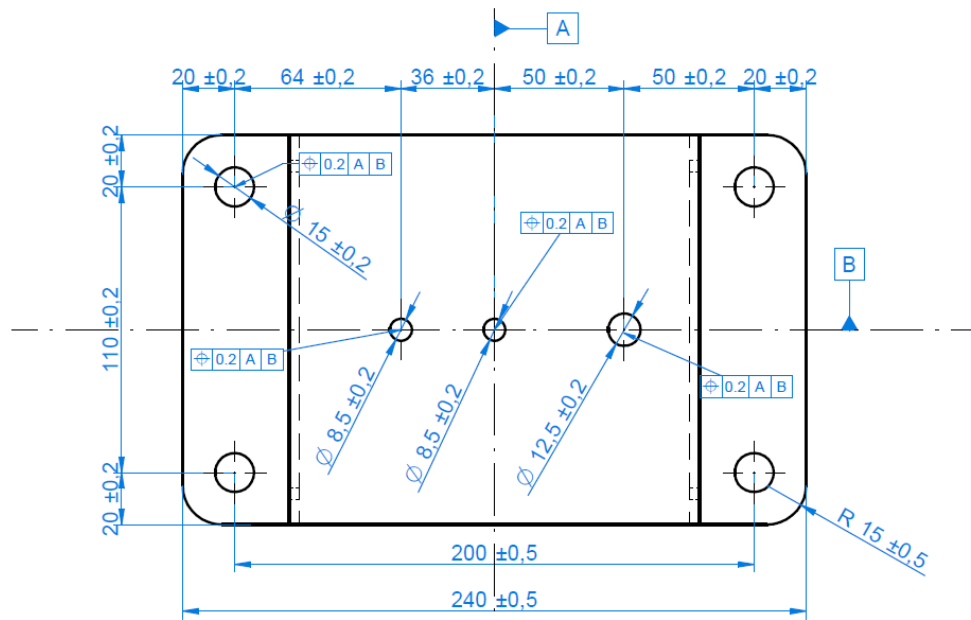
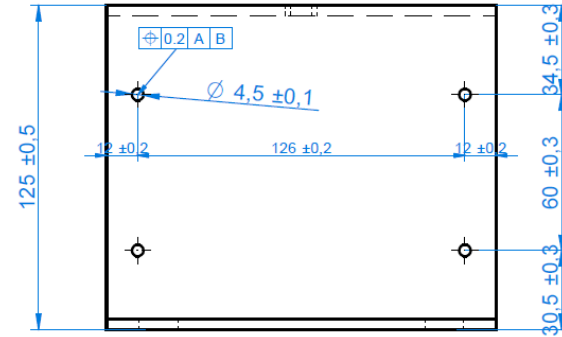
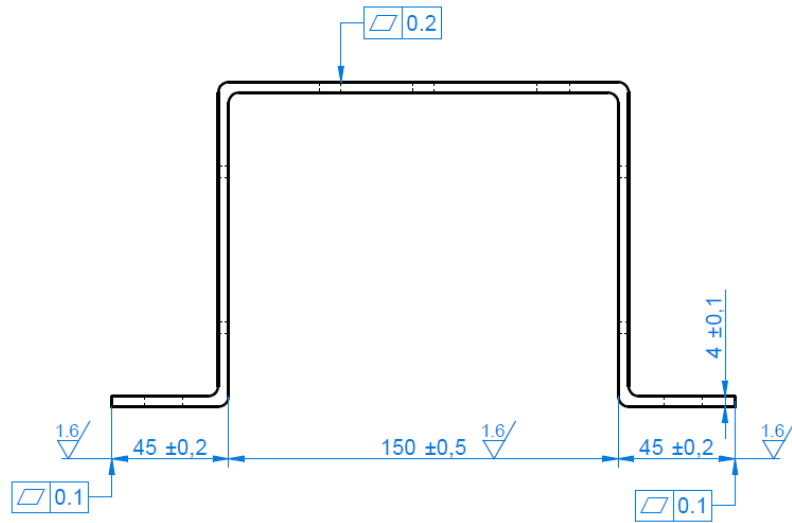
08 3.2/



MATERIAL	Acero F-1140	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Cartela
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK			TÍTULO	CONJUNTO PARTE SUPERIOR
DIBUJADO	J.P.D.C	FECHA	13/04/2026		
COMPROBADO					
ESCALA:	1:2	FIRMA			CÓDIGO PT061.02.04

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

09 3.2/ (1.6/)

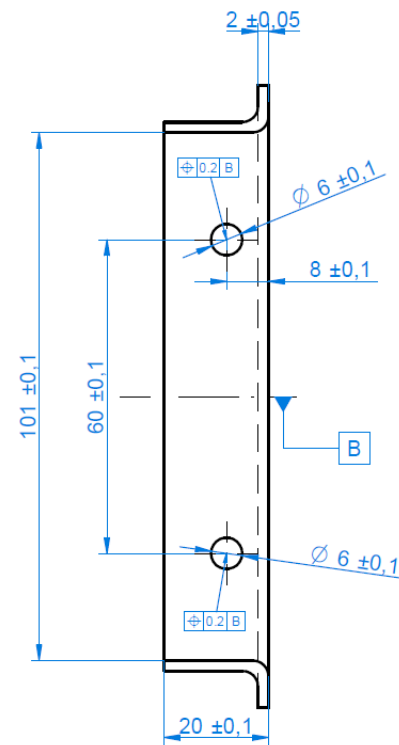
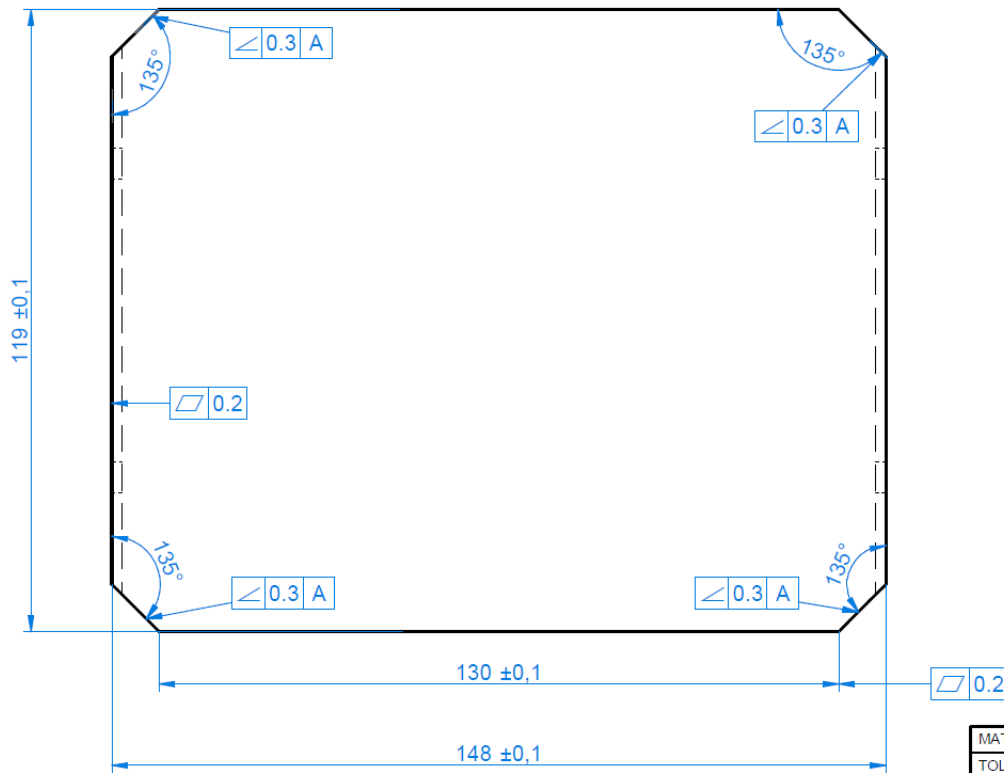
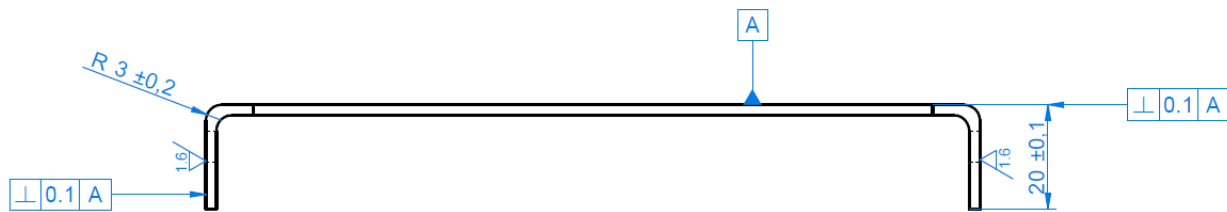
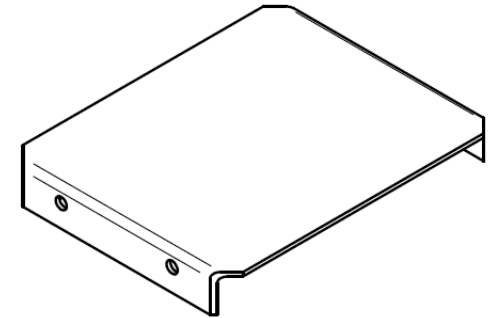


- Notas:
1. Total agujeros $\varnothing 4,5$: 4x $\varnothing 4,5 \pm 0,1$.
 2. Total agujeros $\varnothing 15$: 4x $\varnothing 15 \pm 0,2$.
 3. Pieza simétrica respecto ejes A y B.

MATERIAL	Acero F-1250	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Soporte Actuator
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	NOMBRE	J.P.D.C	FECHA	13/04/2026
DIBUJADO		COMPROBADO		TÍTULO	CONJUNTO PARTE SUPERIOR
ESCALA:	1:2	FIRMA		CÓDIGO	PT061.02.05

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

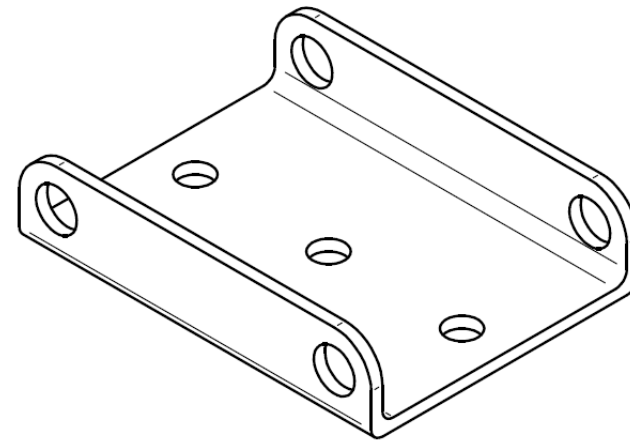
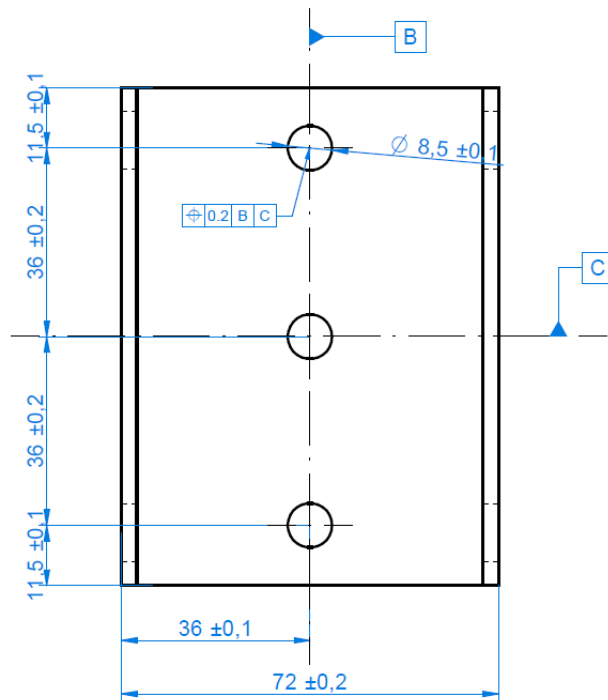
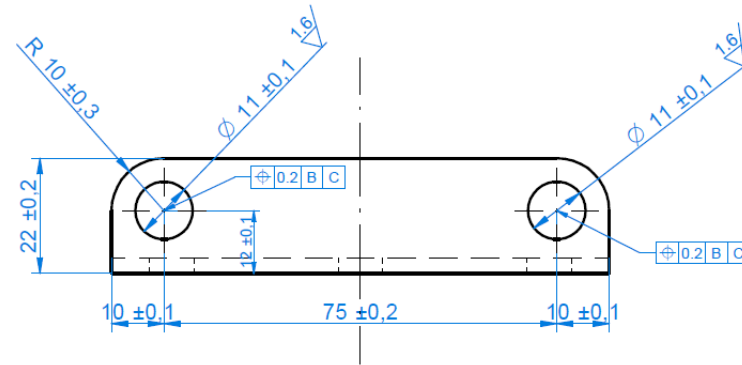
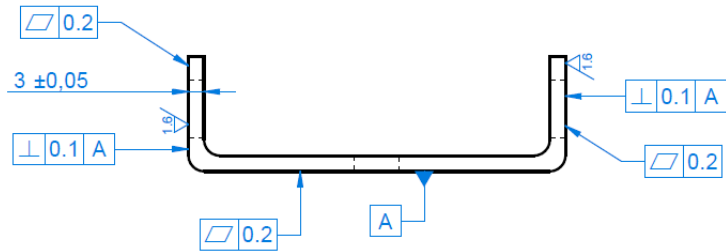
10 $\frac{3.2}{\nabla}$ ($\frac{1.6}{\nabla}$)



MATERIAL	Acero F-1250	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Protección
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	NOMBRE	FECHA	TÍTULO	
DIBUJADO	J.P.D.C	13/04/2026		CONJUNTO PARTE SUPERIOR	
COMPROBADO		ESCALA:	FIRMA		CÓDIGO PT061.02.06
		1:1			

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

11 3.2 / (1.6)

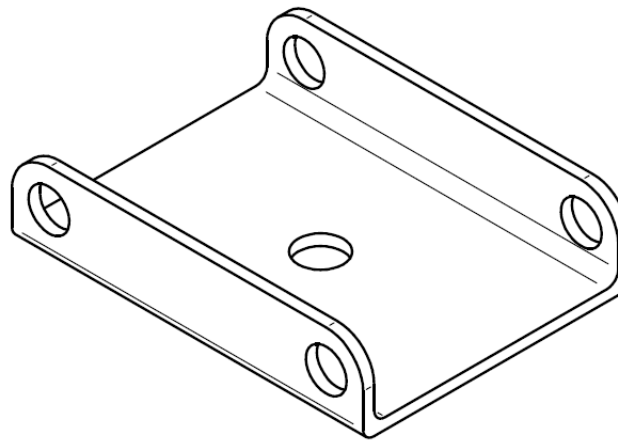
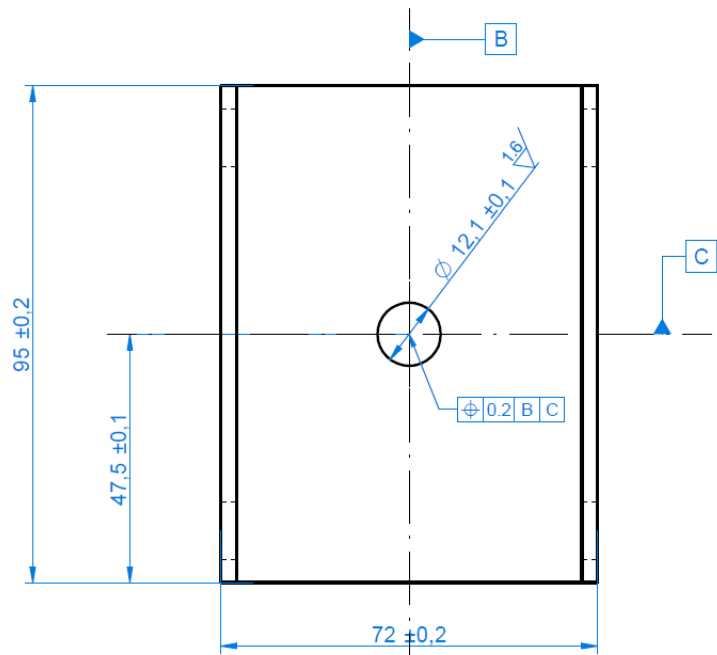
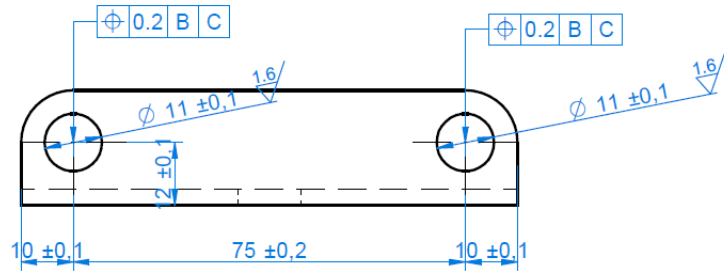
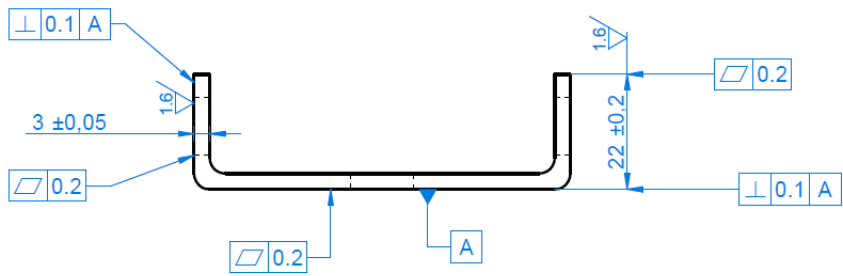


- Notas:
 1. Total agujeros $\varnothing 8,5$: 3x $\varnothing 8,5 \pm 0,1$.
 2. Pieza simétrica respecto ejes B y C.

MATERIAL	Acero F-1250	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Placa Actuator
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	NOMBRE	FECHA	TÍTULO	CONJUNTO PARTE SUPERIOR
DIBUJADO	J.P.D.C	COMPROBADO	13/04/2026	ESCALA:	FIRMA
1:1					CÓDIGO
				PT061.02.07	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

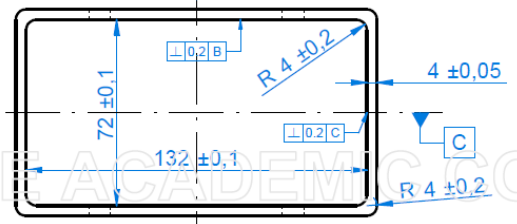
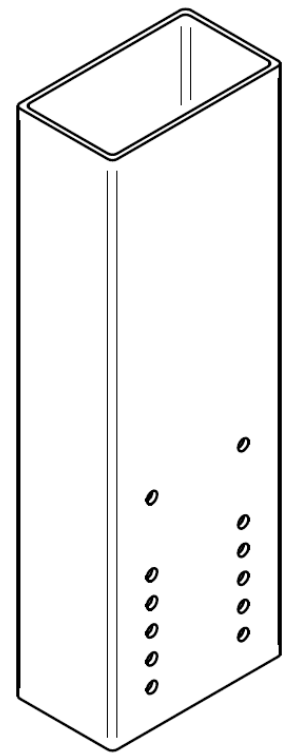
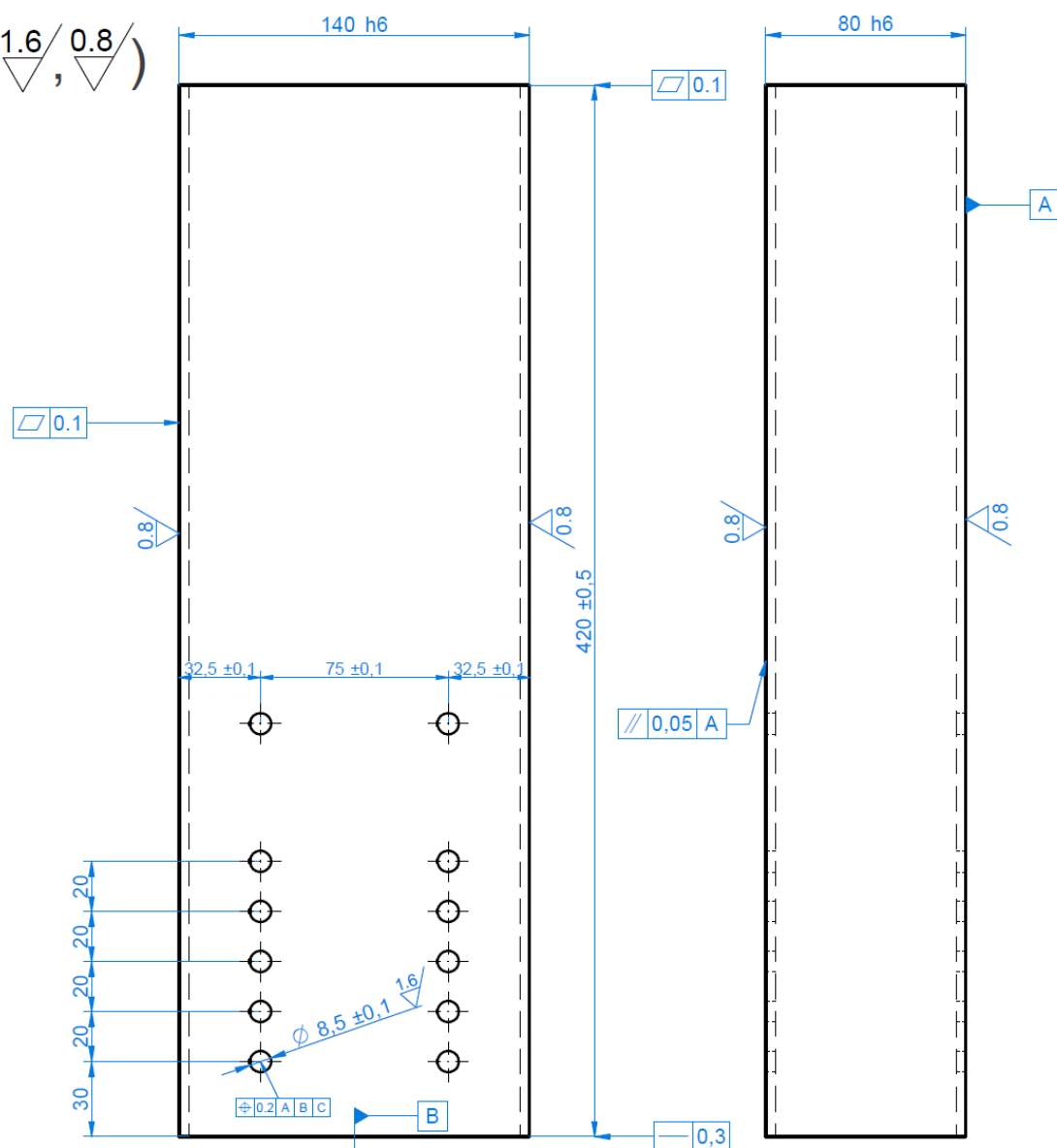
12 $\sqrt{3.2}$ / ($\sqrt{1.6}$)



MATERIAL	Acero F-1250	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Placa Célula
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	NOMBRE		FECHA	13/04/2026
DIBUJADO	J.P.D.C	TÍTULO			
COMPROBADO		CONJUNTO PARTE SUPERIOR			
ESCALA:	1:1	FIRMA			CÓDIGO
					PT061.02.08

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

13 $\sqrt{3.2}$ ($\sqrt{1.6}$, $\sqrt{0.8}$)

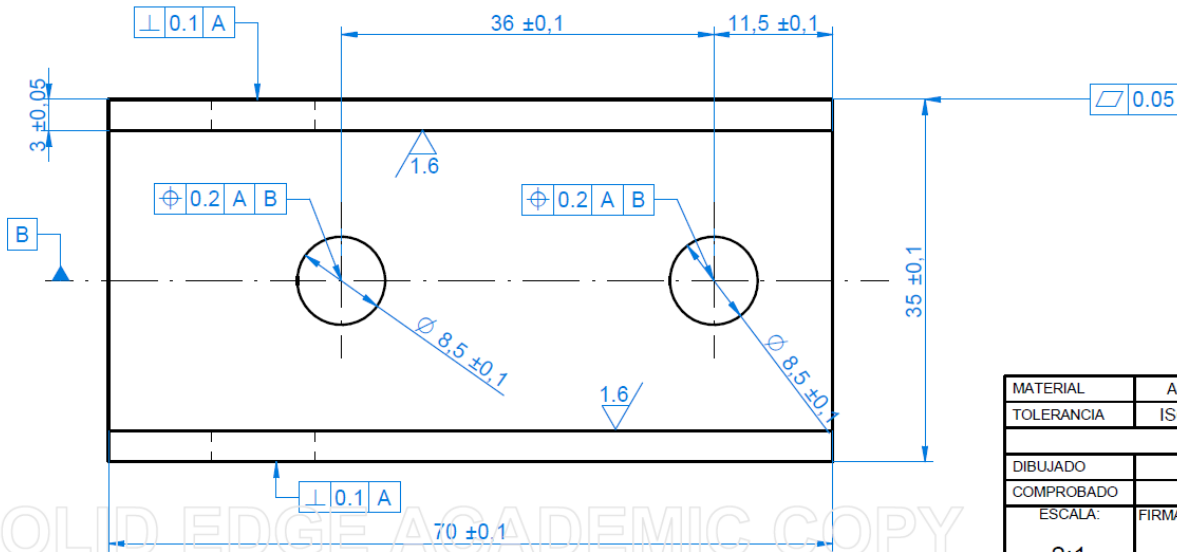
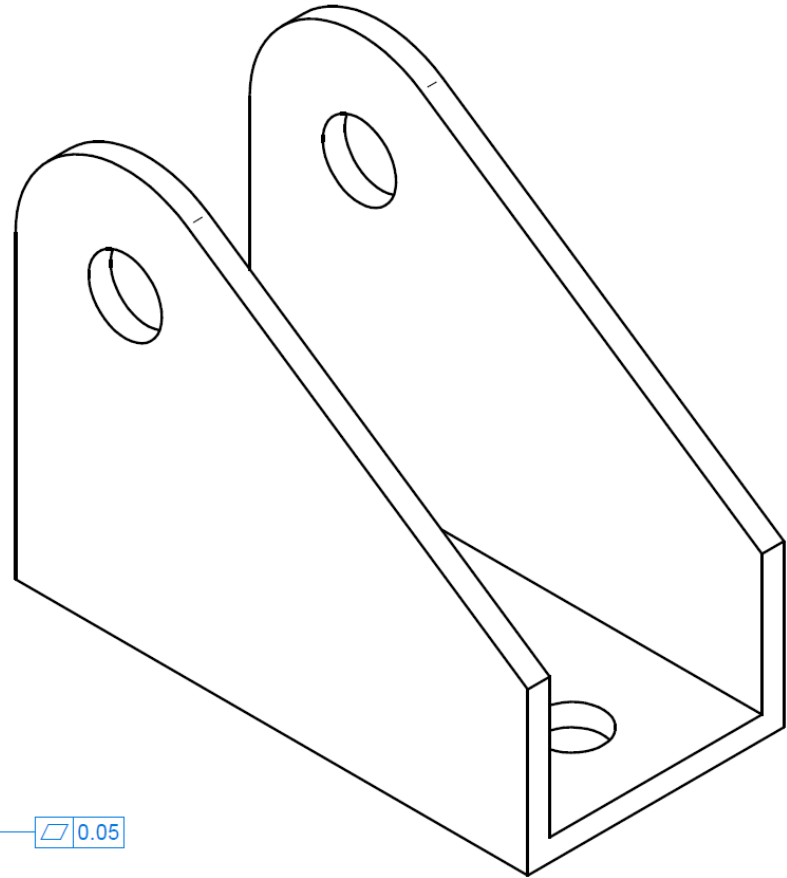
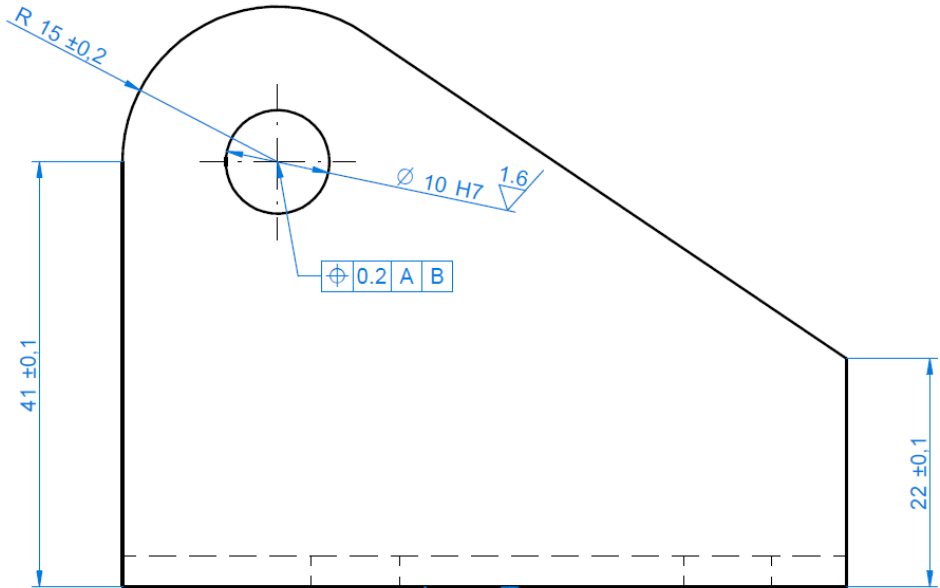


- Notas:
 1. Total agujeros Ø8,5: 12x Ø8,5 ±0,1.
 2. Pieza simétrica respecto ejes B y C.

MATERIAL	Acero F-1250	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Mástil
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	DIBUJO		TÍTULO	CONJUNTO PARTE SUPERIOR
DIBUJADO	J.P.D.C	FECHA	13/04/2026		
COMPROBADO					
ESCALA:	1:2	FIRMA		COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI	
				CODIGO	PT061.02.09

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

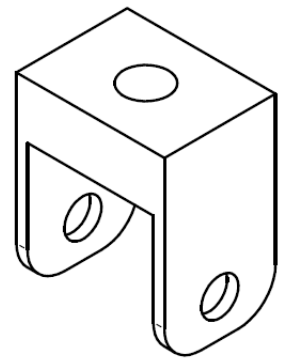
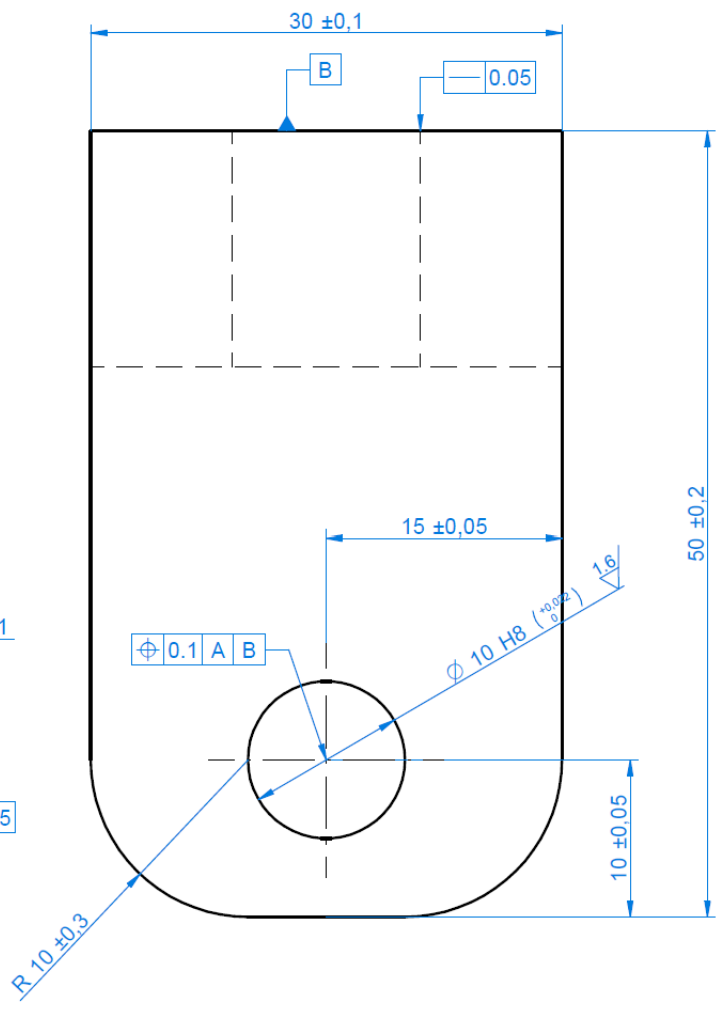
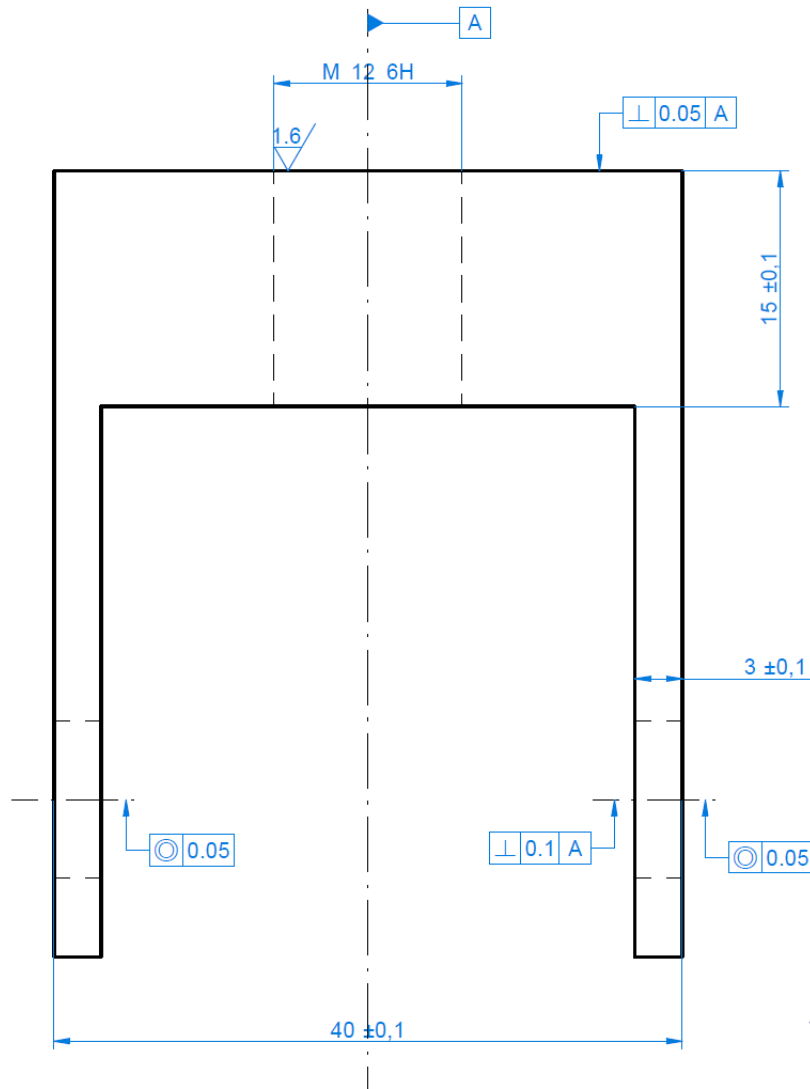
14 $\sqrt[3.2]{}$ ($\sqrt[1.6]{}$)



MATERIAL	Acero F-1140	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Anclaje
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	DIBUJADO		TÍTULO	
		NOMBRE		SISTEMA DE ELEVACIÓN	
		FECHA		COMPROBADO	
		22/04/2026		ESCALA:	
		FIRMA		CODIGO	
		2:1		PT061.03.01	
				COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

16 $\sqrt{3.2}$ / ($\sqrt{1.6}$)

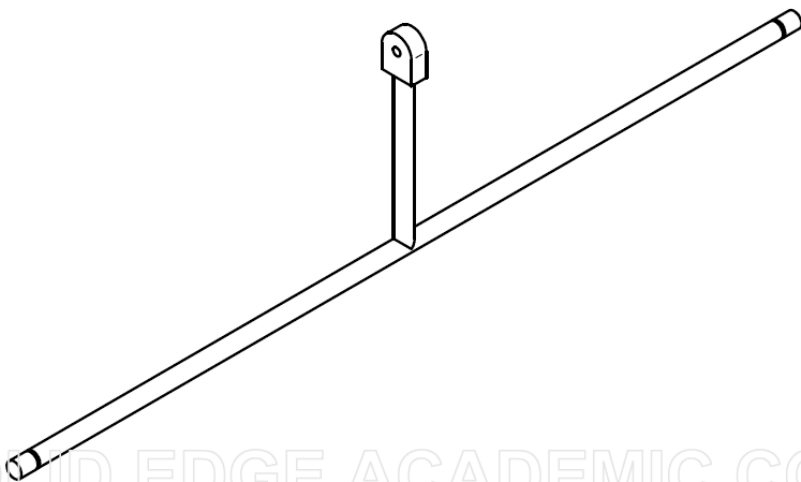
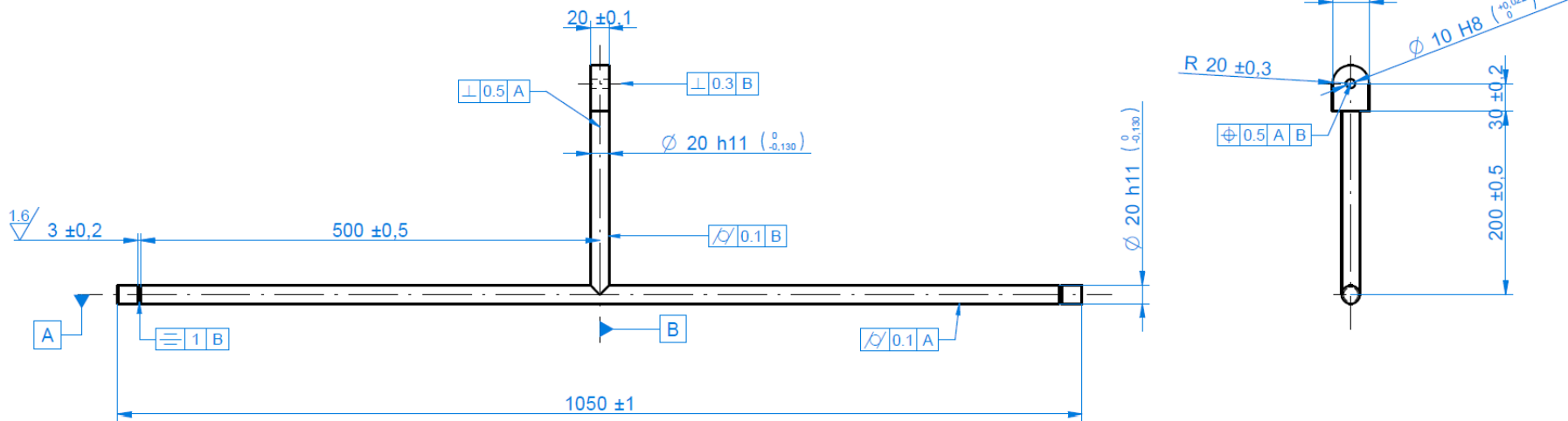


MATERIAL	Acero F-1250	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO	Soporte Horquilla
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	A3		TÍTULO	BRAZO BASCULANTE
DIBUJADO	J.P.D.C	FECHA	02/05/2026		
COMPROBADO					
ESCALA:	3:1	FIRMA			CODIGO PT061.04.01

- Notas:
- Rosca métrica según ISO 965, clase 6H (M12).
 - Pieza simétrica respecto al eje A.
 - Aristas vivas matadas a $0,5 \times 45^\circ$.

ACADEMIC COPY

17 $\sqrt{3.2}$ / ($\sqrt{1.6}$)



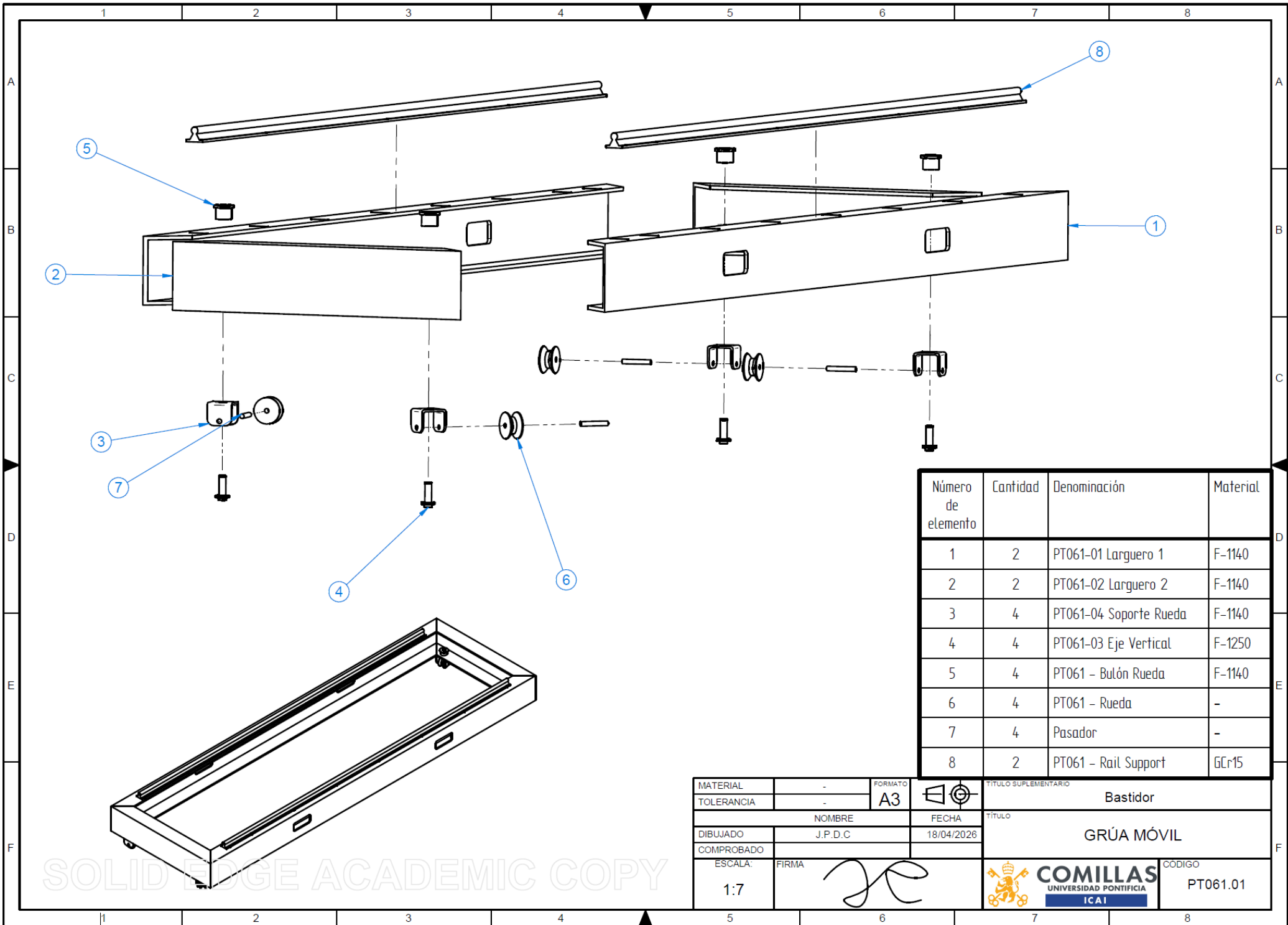
Notas:

1. Conjunto soldado. Tolerancias generales de soldado según UNE-EN ISO 13920, clase B.
2. Pieza simétrica respecto al eje B.
3. Aristas vivas matadas a $0,5 \times 45^\circ$.



MATERIAL	Acero F-1250	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO	Barra de Elevación
TOLERANCIA	ISO 2768 - mK	A3		TÍTULO	BRAZO BASCULANTE
DIBUJADO	J.P.D.C	FECHA	02/05/2026		
COMPROBADO					
ESCALA:	FIRMA				CODIGO
1:5				COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI	PT061.04.02

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

ANEXO II – PLANOS DE CONJUNTO Y SUBCONJUNTO



Número de elemento	Cantidad	Denominación	Material
1	2	PT061-01 Languero 1	F-1140
2	2	PT061-02 Languero 2	F-1140
3	4	PT061-04 Soporte Rueda	F-1140
4	4	PT061-03 Eje Vertical	F-1250
5	4	PT061 - Bulón Rueda	F-1140
6	4	PT061 - Rueda	-
7	4	Pasador	-
8	2	PT061 - Rail Support	GCr15

MATERIAL	-	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Bastidor
TOLERANCIA	-	NOMBRE	J.P.D.C	TÍTULO	GRÚA MÓVIL
DIBUJADO	J.P.D.C	FECHA	18/04/2026	 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI	
COMPROBADO		ESCALA:	1:7		
FIRMA					

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

C

D

E

F

A

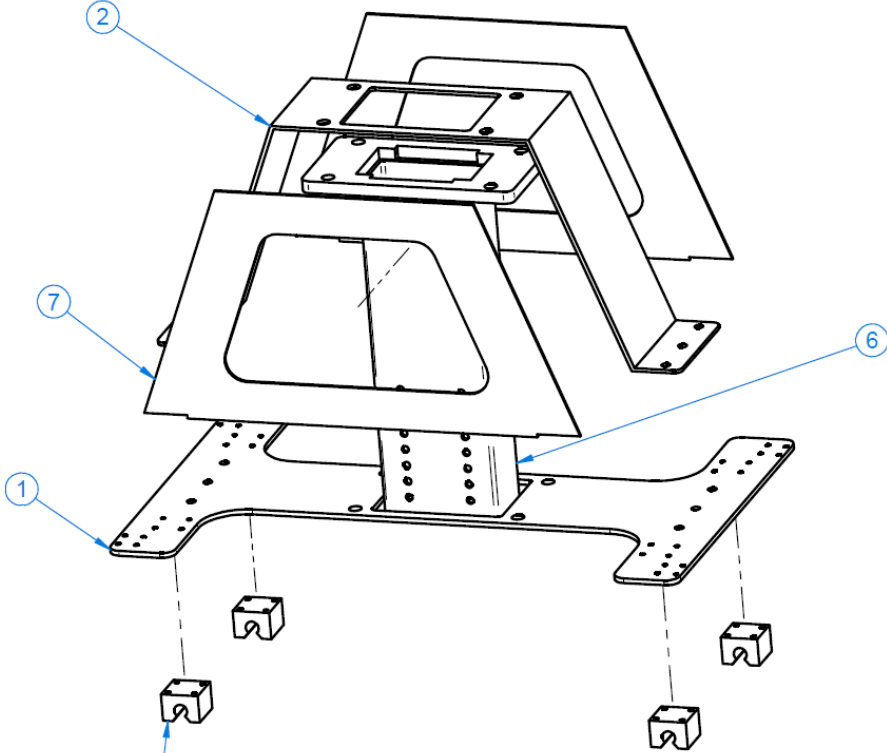
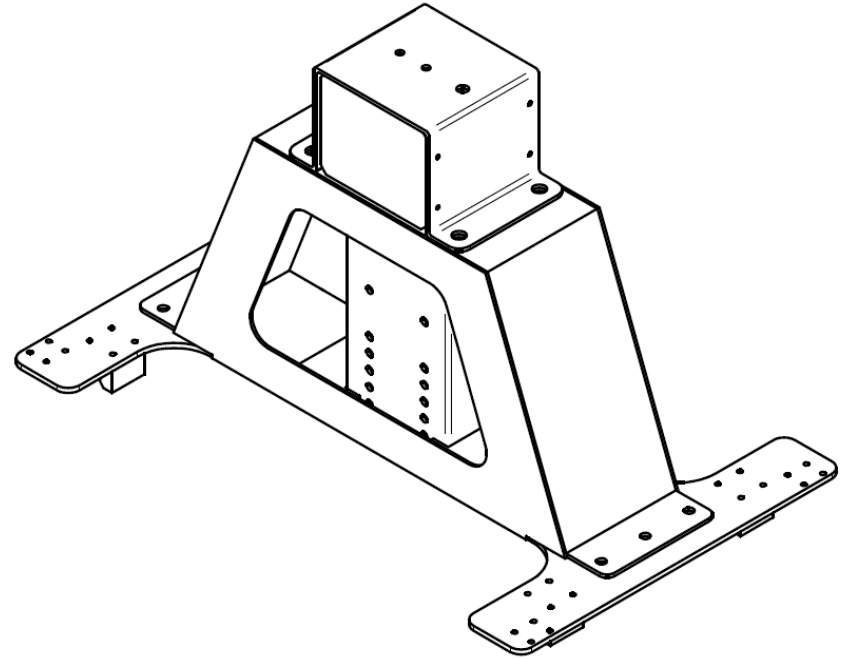
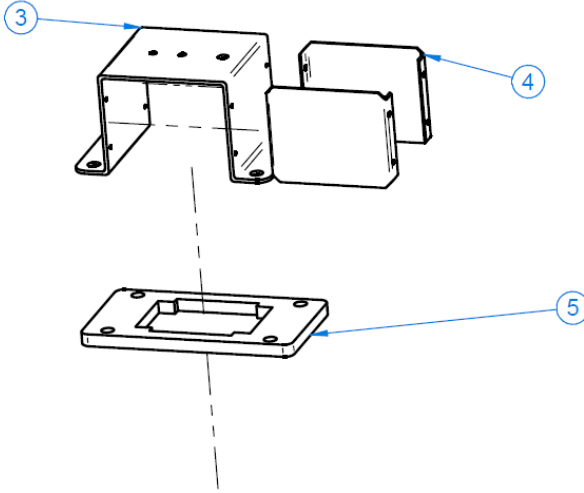
B

C

D

E

F

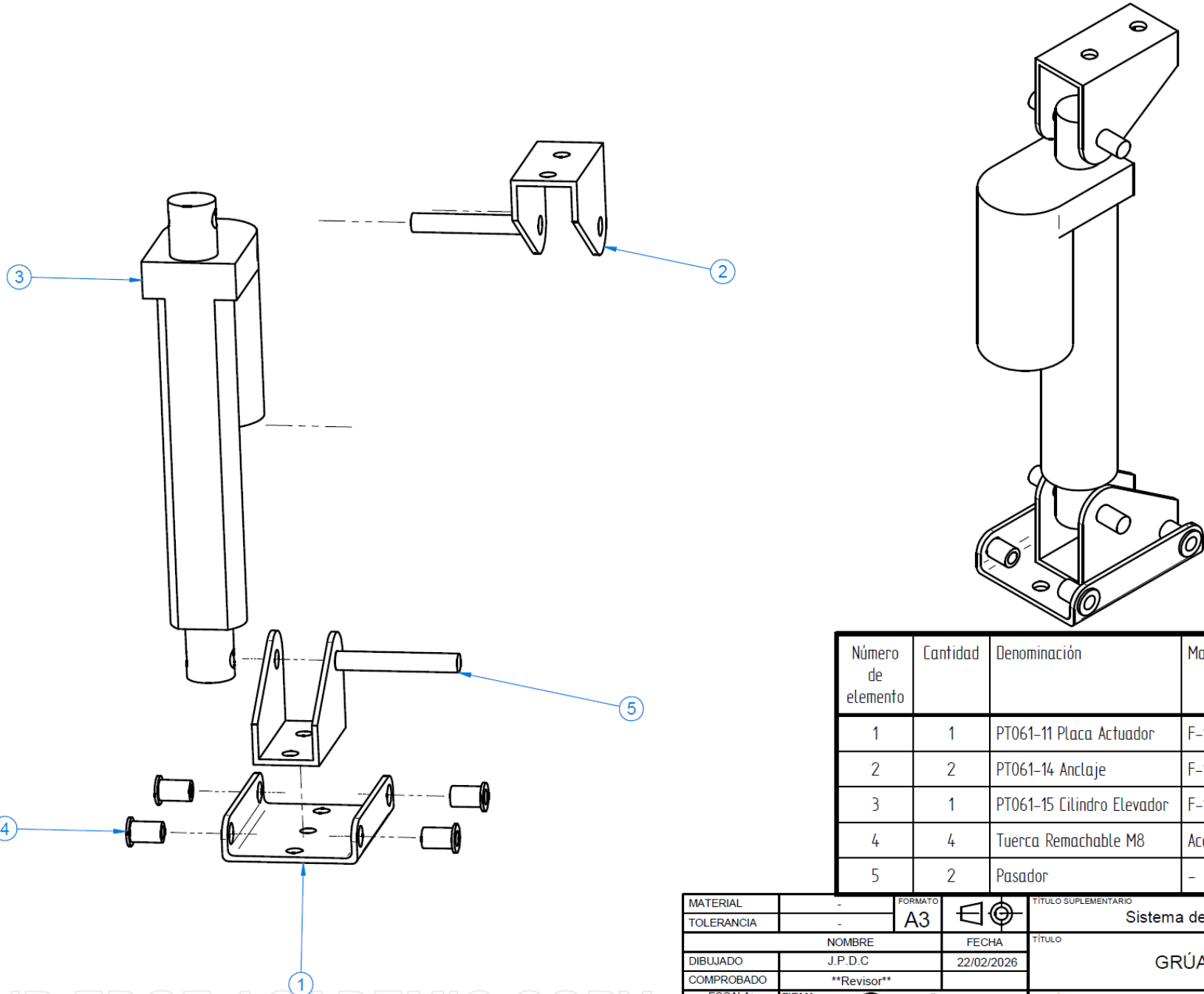


Número de elemento	Cantidad	Denominación	Material
1	1	PT061-06 Marco Inferior	F-1250
2	1	PT061-07 Pirámide	F-1250
3	1	PT061-09 Soporte Actuador	F-1250
4	2	PT061-10 Protección	F-1250
5	2	PT061-05 Patín Mástil	Polietileno
6	1	PT061-13 Mástil	F-1250
7	2	PT061-08 Cartela	F-1140
8	4	PT061 - Rail Carriage	GCr15

MATERIAL	-	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Conjunto Parte Superior
TOLERANCIA	-	NOMBRE	J.P.D.C	FECHA	22/02/2026
DIBUJADO	J.P.D.C	TÍTULO			
COMPROBADO		GRÚA MÓVIL			
ESCALA	1:6	FIRMA		CODIGO	PT061.02

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

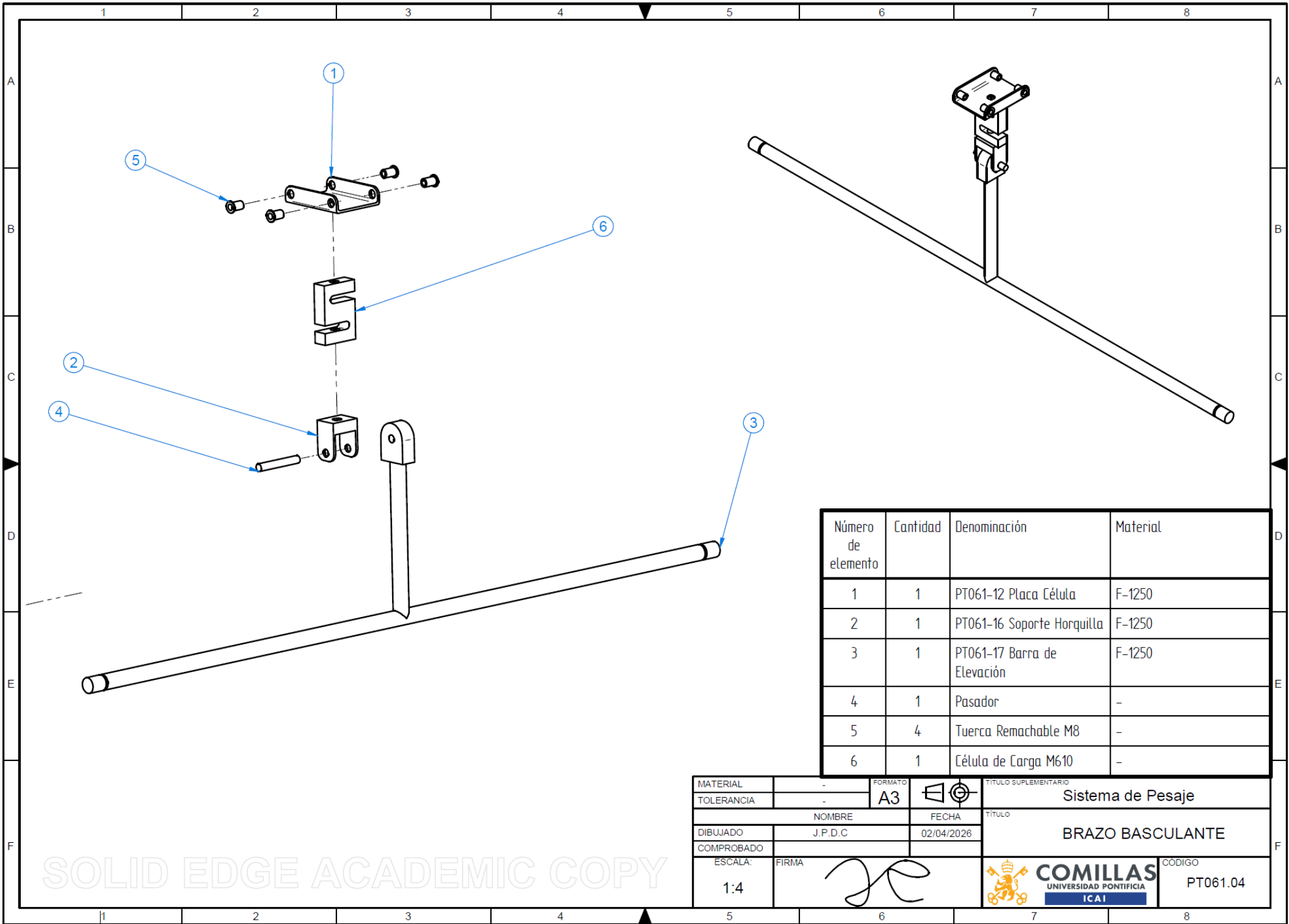
1 2 3 4 5 6 7 8



Número de elemento	Cantidad	Denominación	Material
1	1	PT061-11 Placa Actuador	F-1250
2	2	PT061-14 Anclaje	F-1140
3	1	PT061-15 Cilindro Elevador	F-1250
4	4	Tuerca Remachable M8	Acero al carbono zincado
5	2	Pasador	-

MATERIAL	-	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Sistema de Elevación
TOLERANCIA	-	NOMBRE	J.P.D.C	FECHA	22/02/2026
DIBUJADO	J.P.D.C	FECHA	22/02/2026	TÍTULO	GRÚA MÓVIL
COMPROBADO	**Revisor**	ESCALA:	1:2	FIRMA	
				COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI	CÓDIGO PT061.03

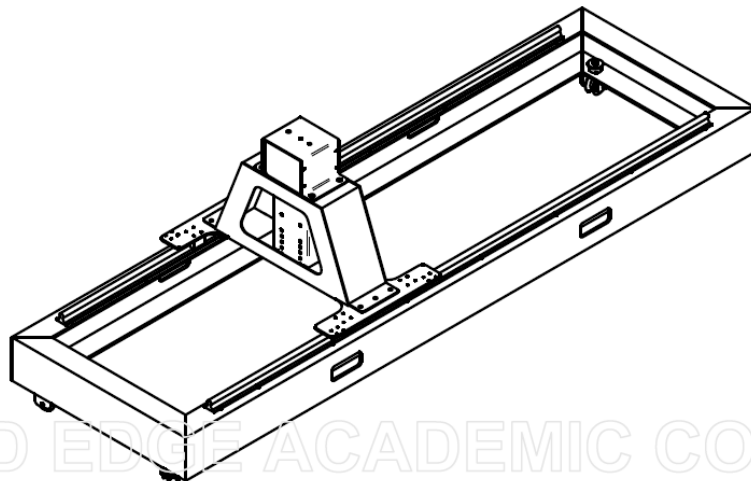
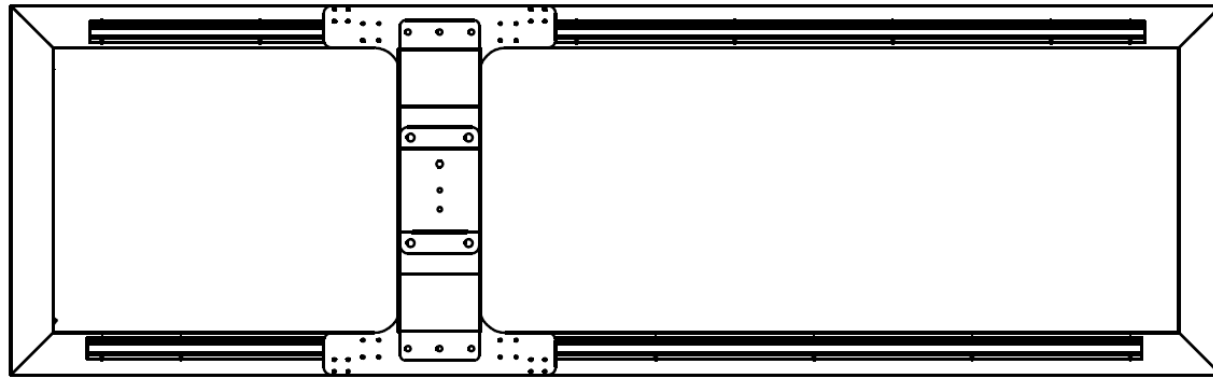
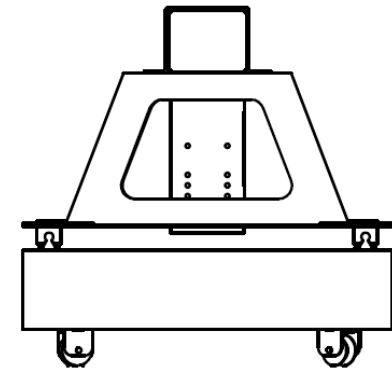
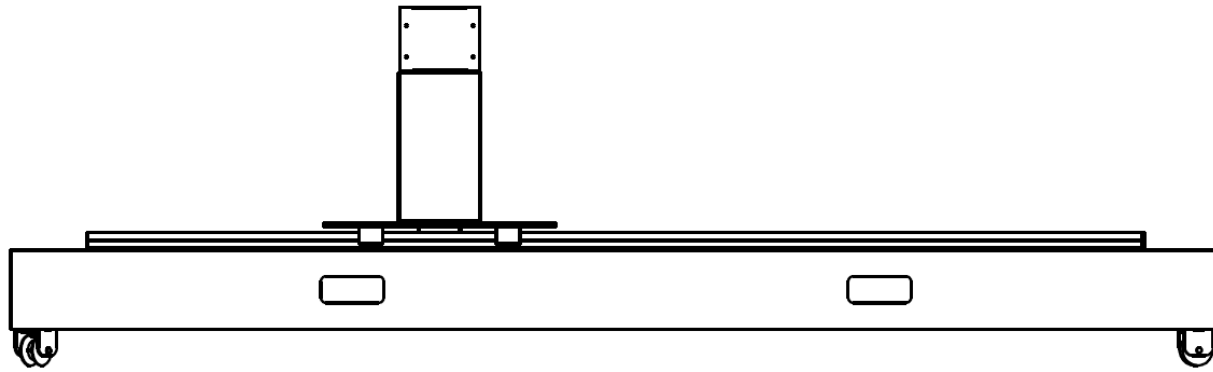
SOLID EDGE ACADEMIC COPY





Número de elemento	Cantidad	Denominación	Material
1	1	PT061-12 Placa Célula	F-1250
2	1	PT061-16 Soporte Horquilla	F-1250
3	1	PT061-17 Barra de Elevación	F-1250
4	1	Pasador	-
5	4	Tuerca Remachable M8	-
6	1	Célula de Carga M610	-

MATERIAL	-	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Sistema de Pesaje	
TOLERANCIA	-	NOMBRE	J.P.D.C	FECHA	02/04/2026	
DIBUJADO	J.P.D.C	FECHA	02/04/2026	TÍTULO	BRAZO BASCULANTE	
COMPROBADO		ESCALA:	1:4	FIRMA		
					CODIGO	PT061.04

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

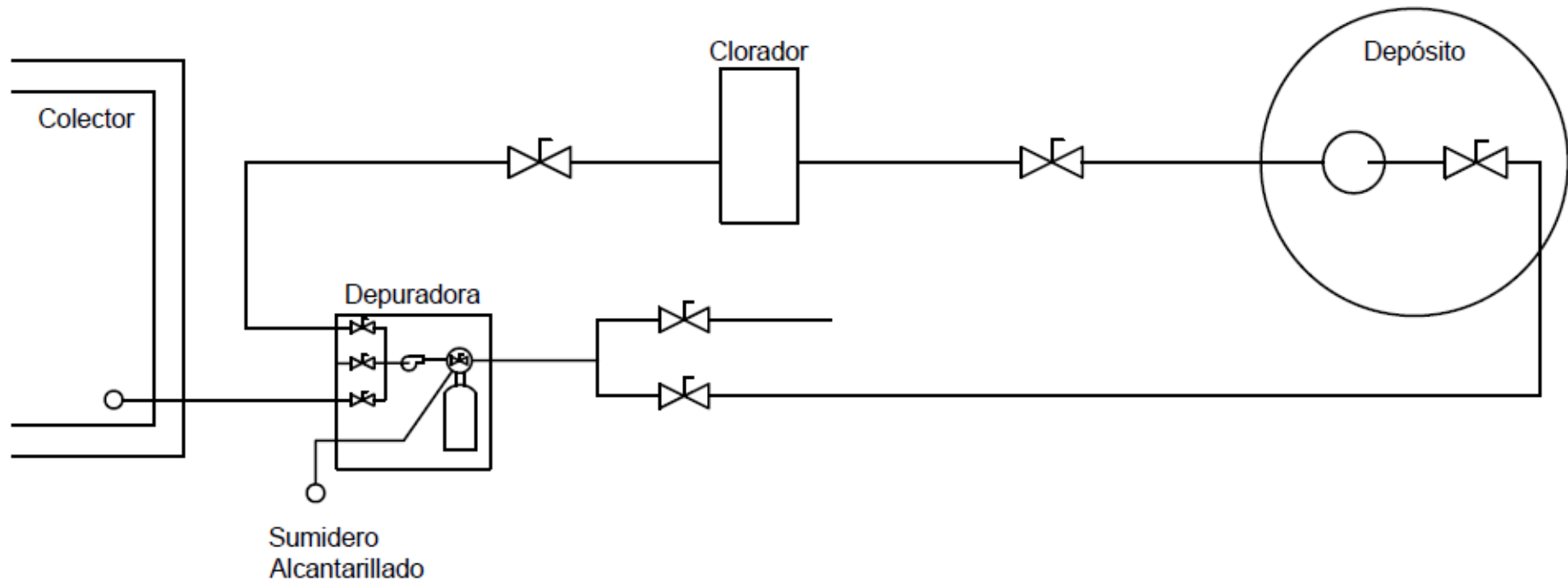


MATERIAL	-	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO	Estructura completa de Banco de Ensayos
TOLERANCIA	-	NOMBRE	J.P.D.C	FECHA	20/04/2026
DIBUJADO	J.P.D.C	FECHA	20/04/2026	TÍTULO	GRÚA MOVIL
COMPROBADO		ESCALA:	1:10	FIRMA	
				 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI	CODIGO PT061

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

ANEXO III – ESQUEMAS HIDRÁULICOS

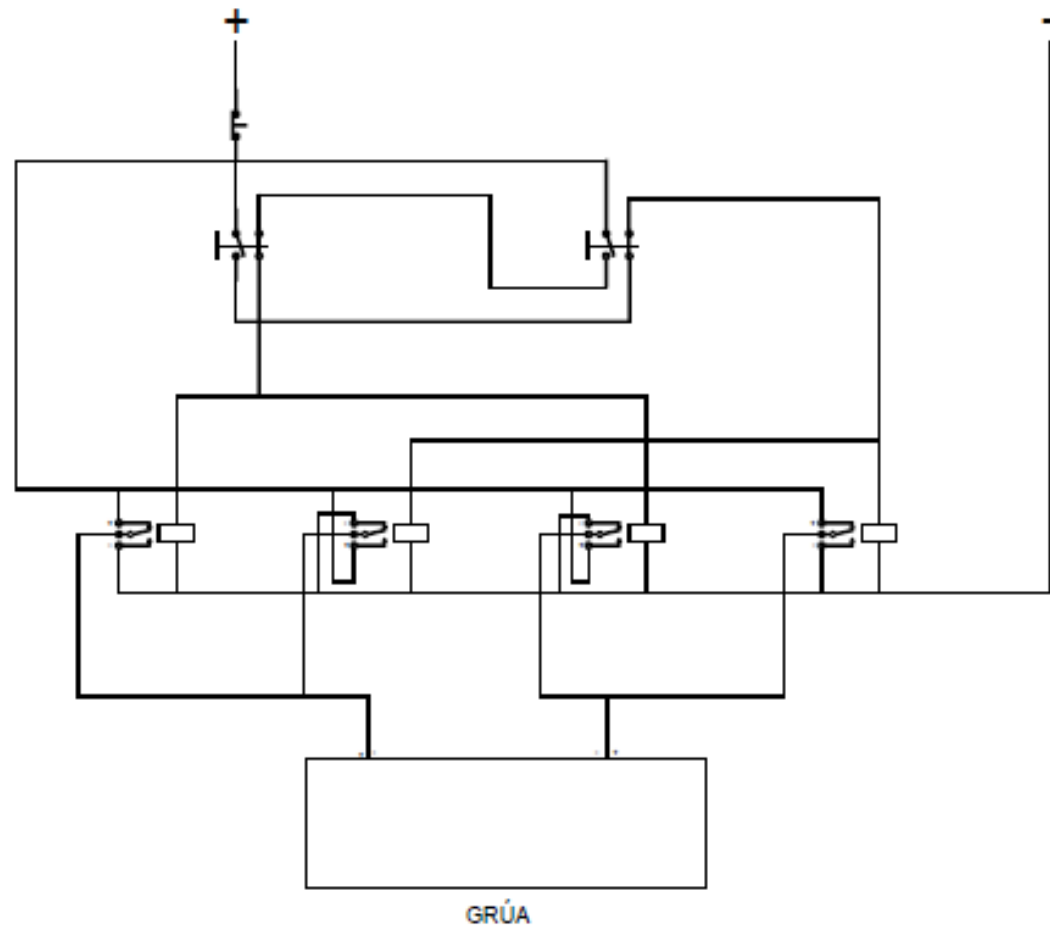
ESQUEMA HIDRÁULICO - SISTEMA DE DEPURADORA



PROYECTO:	FIRMA:	PROPIETARIO:	ESCALA:	CLAVE:	REVISION:
Esquema Electrico Sistema de Depuradora	J.P.D	J.P.D	S/E	BEP-MP-01	01
PLANO:		ICAI - Comillas	FECHA:		
01		03/05/2026			

ANEXO IV – ESQUEMAS ELÉCTRICOS

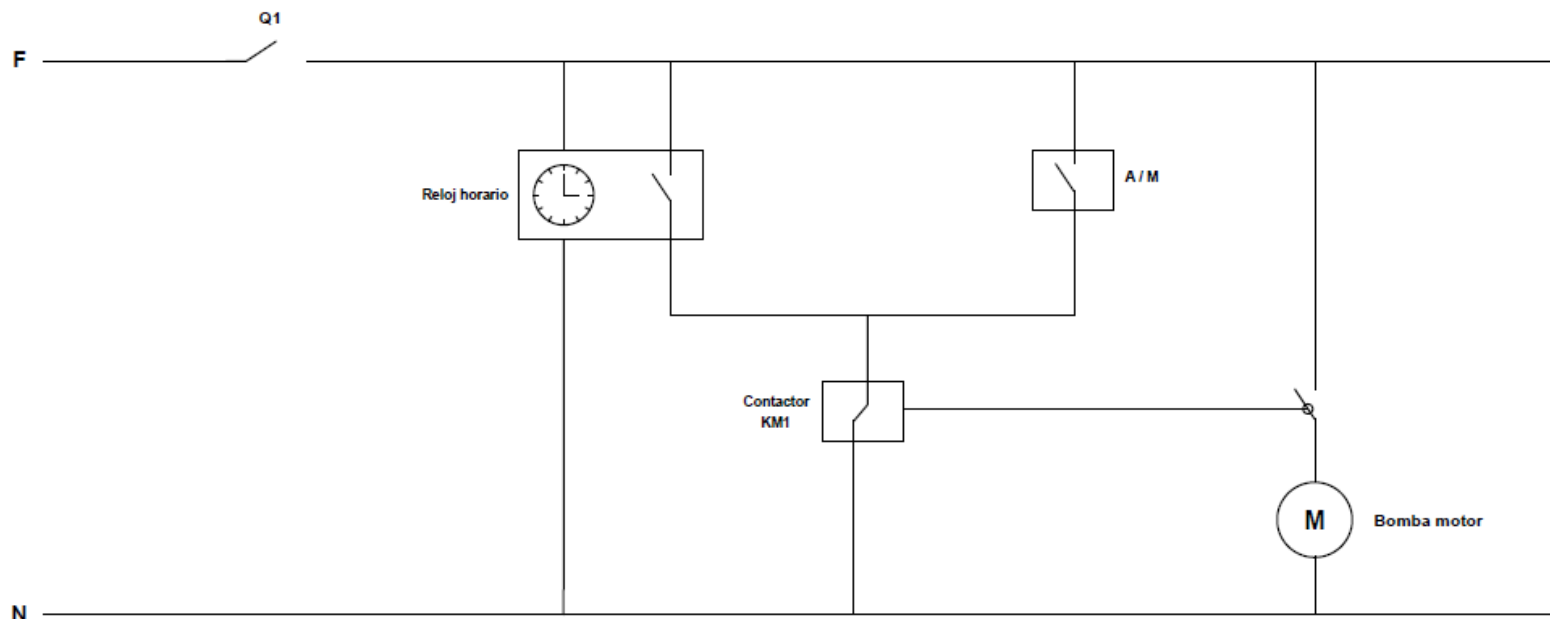
ESQUEMA ELECTRICO - SISTEMA DE ELEVACIÓN DE GRÚA MÓVIL



PROYECTO:	FIRMA:	PROPIETARIO:	ESCALA:	CLASE:	REVISION:
Esquema Electrico Brazo Elevador	J.P.D	J.P.D	S/E	BEP-MP-02	01
PLANO:		ICN - Corillas	FECHA:		
01			03/05/2026		

ESQUEMA ELECTRICO - SISTEMA DE BOMBEO DE LA DEPURADORA

Motor monofasico 230V



COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO:

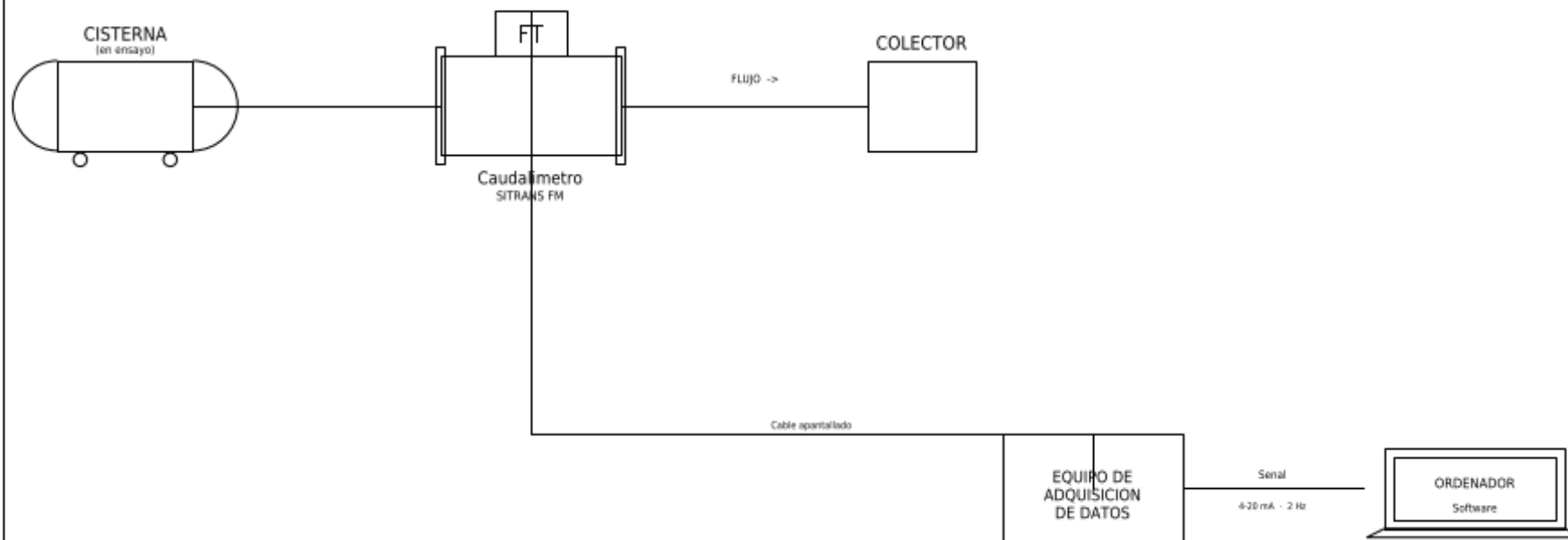
- Q1 - Interruptor general con protección magnetotérmica y diferencial: alimentación y protección general de la instalación.
- H1 - Reloj horario programable: controla el arranque automático del sistema según el horario establecido.
- KM1 - Contactor: se activa con el reloj y arranca el motor de la bomba.
- M - Motor monofasico de la bomba centrifuga.
- A/M - Selector automatico/manual con protección magnetotérmica: permite seleccionar el modo de funcionamiento del sistema.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS:

Tension de alimentación: 230 V monofasica.

PROYECTO:	FIRMA:	PROPIETARIO:	ESCALA:	CLAVE:	REVISION:
Esquema Electrico Sistema de Bombeo	J.P.D	J.P.D	S/E	BEP-MP-02	01
PLANO:		ICAI - Comillas	FECHA:		
02			04/05/2026		

ESQUEMA DEL CAUDALIMETRO



NOTAS:

1. Caudalímetro electromagnético SIEMENS Sitrans FM, según UNE-EN 13406:2003.
2. Rango 0 a 100 l/s. Precisión +/- 0,5% del valor medido.
3. Frecuencia de muestreo 2 Hz, sincronizada con el tiempo de descarga.
4. Tramo recto mínimo aguas arriba 5 DN / aguas abajo 3 DN.
5. Salida de señal 4-20 mA al equipo de adquisición de datos.
6. El software registra caudal vs tiempo y genera gráfico l/s vs % tiempo (según norma).

PROYECTO:	FIRMA:	PROPIETARIO:	ESCALA:	CLAVE:	REVISOR:
Caudalímetro electromagnético SITRANS FM	J.P.D	J.P.D	S/E	BEP-MP-03	01
PLANO:		ICAJ - Comillas	FECHA:		
03			04/05/2026		

ANEXO V – FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS

Troubleshooting

1. Binding or sticking: This can be caused by misalignment, improper lubrication, or excessive wear. To resolve this issue, the guide rail and sliding block should be inspected and realigned if necessary, and lubricated with the appropriate grease.

2. Excessive wear: This can be caused by overloading, improper lubrication, or misalignment. To resolve this issue, the load on the guide rail should be reduced, and the guide rail and sliding block should be inspected, realigned if necessary, and lubricated with the appropriate grease.

3. Misalignment: This can be caused by improper installation or by wear over time. To resolve this issue, the guide rail and sliding block should be inspected and realigned if necessary.

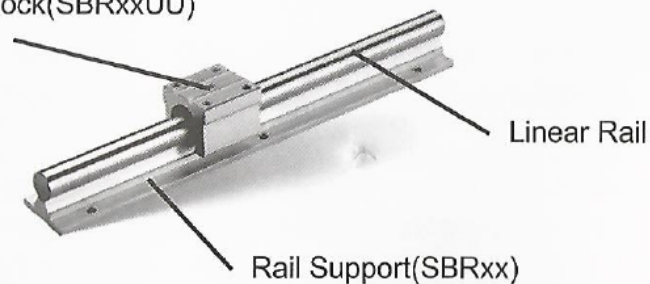
4. Noisy operation: This can be caused by a lack of lubrication, misalignment, or excessive wear. To resolve this issue, the guide rail and sliding block should be lubricated with the appropriate grease, inspected and realigned if necessary.

5. Reduced accuracy: This can be caused by misalignment, binding, or excessive wear. To resolve this issue, the guide rail and sliding block should be inspected, realigned if necessary, lubricated with the appropriate grease, and checked for proper alignment.

PRODUCT SPECIFICATIONS

SBR LINEAR GUIDE RAIL

Rail Carriage Block(SBRxxUU)

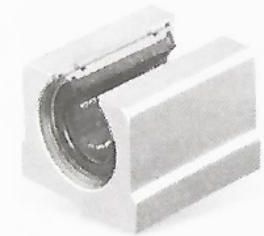
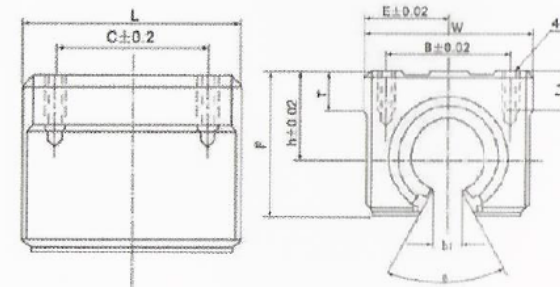


Linear Rail

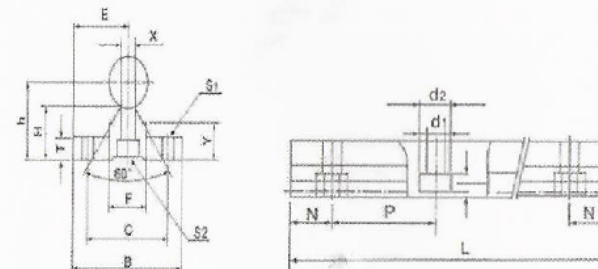
- Material:GCR15 45"
- Hardness:HRC62+2(45*:HRC58)
- Surface Hard-thickness:0.8~2.5mm
- Surface roughness:0.8S~1.6S
- Straightness:80μm/1000mm
- Roundness:≤3.0μm(Rmax)



Rail Carriage Block(SBRxxUU)



Rail Support(SBRxx)



SBR12-C 1000L

Part name	Dimensions(mm)											
	h	E	W	L	F	h1	θ	B	C	S	L1	T
SBR12UU	17	20	40	39	27.6	6	80°	28	26	M5	10	7
Part name	Dimensions(mm)											
	Shaft Dimensions		E	h	B	H	T	F	X	Y	C	S1
SBR12	Φ12×1000L		15	22.5	32	16.5	4	12	6	12	22	Φ5

SBR25-C 1200L

Part name	Dimensions(mm)											
	h	E	W	L	F	h1	θ	B	C	S	L1	T
SBR25UU	27	30	60	65	47	11.5	50°	40	40	M6	12	14
Part name	Dimensions(mm)											
	Shaft Dimensions		E	h	B	H	T	F	X	Y	C	S1
SBR25	Φ25×1200L		27.5	33	55	21	6	21.5	8	12	35	Φ6.5

SBR16-C 2000L, 1500L, 1200L, 1000L, 800L, 600L, 500L, 400L, 300L

Part name	Dimensions(mm)											
	h	E	W	L	F	h1	θ	B	C	S	L1	T
SBR16UU	20	22.5	45	45	33	10	80°	32	30	M5	12	9
Part name	Dimensions(mm)											
	Shaft Dimensions		E	h	B	H	T	F	X	Y	C	S1
SBR16	Φ16×800L		20	25	40	17.8	5	18.5	8	11.7	30	Φ6

SBR20-C 2200L, 1800L, 1500L, 1200L, 1000L, 800L, 650L, 600L, 300L

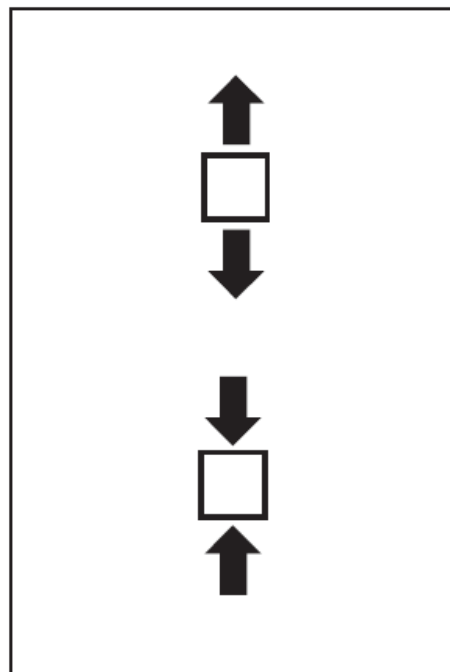
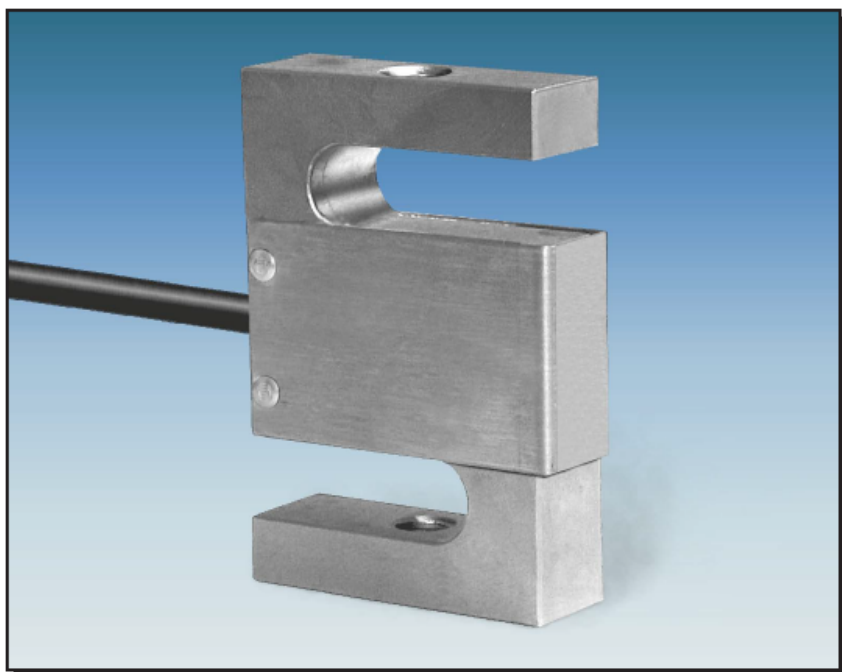
Part name	Dimensions(mm)											
	h	E	W	L	F	h1	θ	B	C	S	L1	T
SBR20UU	23	24	48	50	39	10	60°	35	35	M6	12	11
Part name	Dimensions(mm)											
	Shaft Dimensions		E	h	B	H	T	F	X	Y	C	S1
SBR20	Φ20×1000L		22.5	27	45	17.7	5	19	8	10	30	Φ6

Product Name: FM520
 TAG:
 MLFB: 7ME6532-3F...-....
 Accuracy Class: Standard Calibration 0.4%
 Nominal Diameter: DN 65, 2½ inch (3F)
 Min / Nom / Max Measuring Range: 10000,0000 / 30000,0000 / 50000,0000 l/h
 Min / Nom / Max Operating Temperature: - / - / -
 Min / Nom / Max Operating Pressure: - / - / -



Accuracy Table

Measuring Range (l/h)	Measuring Error (%)	Flow Velocity (m/s)
10000,0000	0,508	0,836
13636,3636	0,479	1,140
17272,7273	0,462	1,444
20909,0909	0,451	1,748
24545,4545	0,444	2,052
28181,8182	0,438	2,356
31818,1818	0,434	2,660
35454,5455	0,430	2,965
39090,9091	0,428	3,269
42727,2727	0,425	3,573
46363,6364	0,423	3,877
50000,0000	0,422	4,181

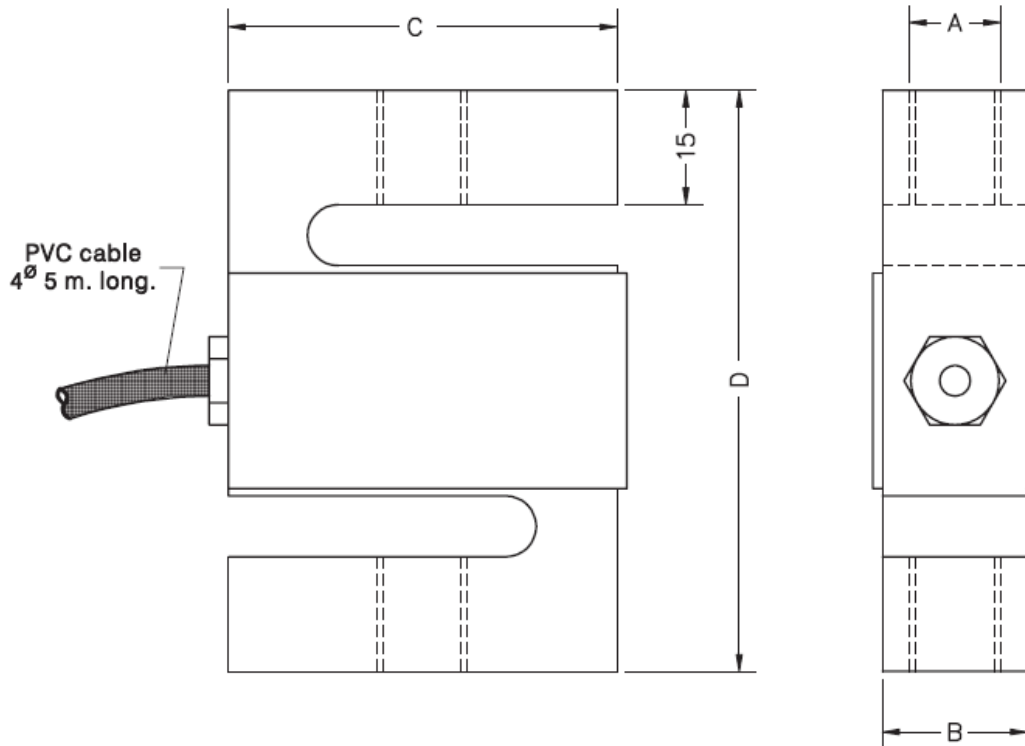


- Célula de carga de tracción/compresión
- 3000 divisiones OIML R60 clase C
- Soporte elástico de acero aleado
- Protección IP 67 (EN 60529)
- Tratamiento anticorrosión de níquel duro
- Aplicaciones:
 - Tanques, Tolvas y Cintas pesadoras suspendidas de estructuras
 - Centrales de asfalto y hormigón
 - Medida de fuerza en maquinaria de ensayo
 - Pesaje aéreo

- Tension/compression load cell
- 3000 divisions OIML R60 class C
- Measuring element from Alloy Steel
- Protected IP 67 (EN 60529)
- Protected against corrosion by nickel-plated treatment
- Applications:
 - Suspended weighing in Tanks, Hoppers and Belt Conveyor Scales
 - Asphalt and Concrete Plants
 - Force measurement in Test Equipment
 - Crane scales

Modelo Model	Carga nominal Nominal capacity Ln	Clase de precisión Accuracy class n. OIML	División mínima Minimum division vmin	Carga de servicio Service load	Carga límite Safe load
610 50 kg	50 kg	3000	5 g	75 kg	150 kg
610 100 kg	100 kg	3000	10 g	150 kg	300 kg
610 250 kg	250 kg	3000	25 g	375 kg	750 kg
610 500 kg	500 kg	3000	50 g	750 kg	1500 kg
610 1000 kg	1000 kg	3000	100 g	1200 kg	2000 kg

MODELO 610

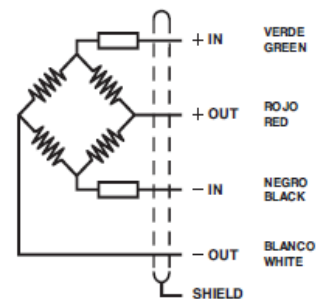


Carga nominal Nominal load	A	B	C	D	Peso transporte Transport weight
50-100 kg	M10x1.5	15	50.8	76.2	0.5 kg
250-500 kg	M12x1.75	19	50.8	76.2	0.6 kg
1000 kg	M12x1.75	25	49.5	75.0	0.7 kg

Dimensiones en mm. *Dimensions in mm.*

ESPECIFICACIONES			SPECIFICATIONS
Cargas nominales (Ln)	50-100-250-500-1000	kg	Nominal capacities (Ln)
Clase de precisión	3000	n. OIML	Accuracy class
Carga mínima	0	%Ln	Minimum dead load
Carga de servicio	150	%Ln (1)	Service load
Cargas límite	300	%Ln (2)	Safe load limit
Error combinado	< ±0.017	%Sn	Total error
Error repetibilidad	< ±0.015	%Sn	Repeatability error
Efecto de la temperatura: en el cero	< ±0.01	%Sn/5 °C	Temperature effect: on zero
en la sensibilidad	< ±0.006	%Sn/5 °C	on sensitivity
Error de fluencia (30 minutos)	< ±0.016	%Sn	Creep error (30 minutes)
Compensación de temperatura	-10...+40	°C	Temperature compensation
Límites de temperatura	-30...+70	°C	Temperature limits
Sensibilidad nominal (Sn)	3 ±0.25%	mV/V	Nominal sensitivity (Sn)
Tensión de alimentación nominal	10	V	Nominal input voltage
Tensión de alimentación máxima	15	V	Maximum input voltage
Resistencia de entrada	400 ±20	Ω	Input impedance
Resistencia de salida	350 ±3	Ω	Output impedance
Desequilibrio inicial	< ±2	%Sn	No load output
Resistencia de aislamiento	> 5000	MΩ	Insulation resistance
Deformación máxima (a Ln)	0.3-0.5	mm	Maximum deflection (at Ln)

CONEXIÓN ELÉCTRICA ELECTRICAL CONNECTION:



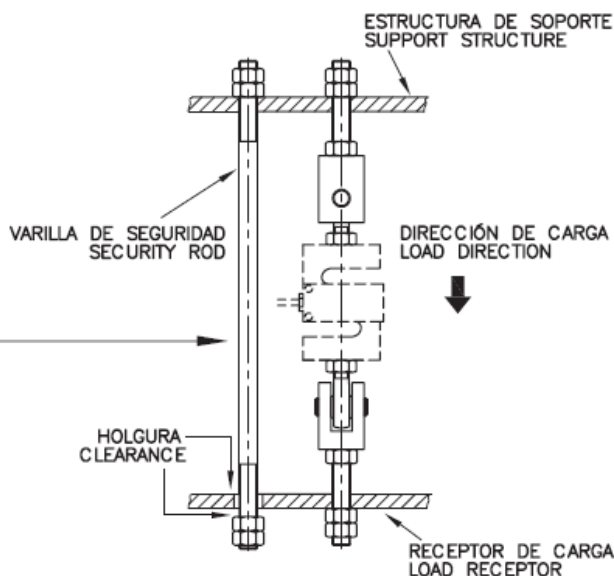
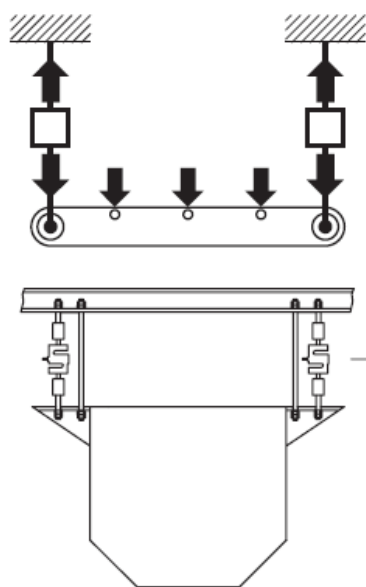
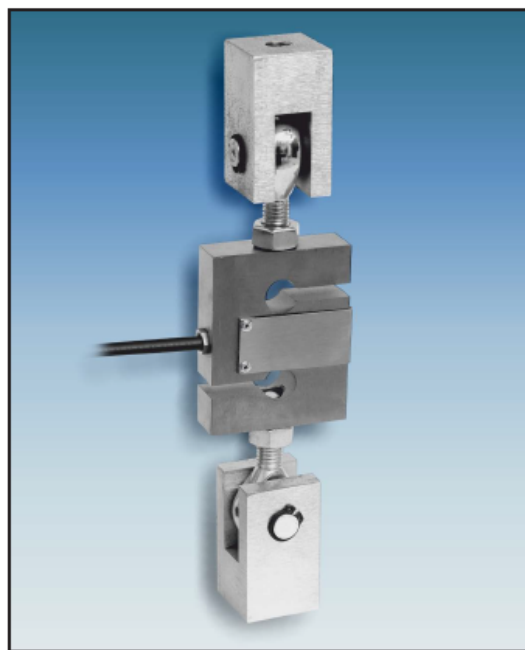
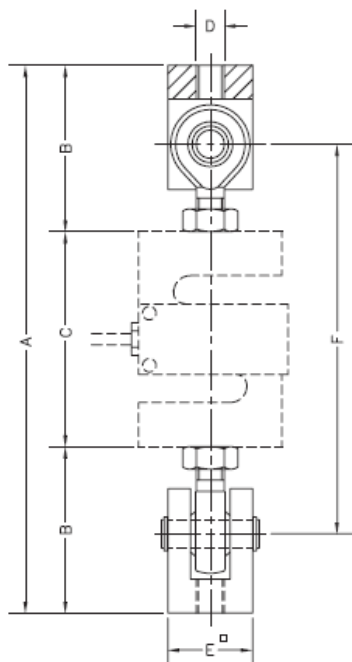
«CONVENIO SIGNOS SALIDA PARA TRACCIÓN»

«OUTPUT SIGNS FOR TENSION APPLICATION»

(1) Para 1000 kg: 120% / For 1000 kg: 120 %

(2) Para 1000 kg: 200 % / For 1000 kg: 200%

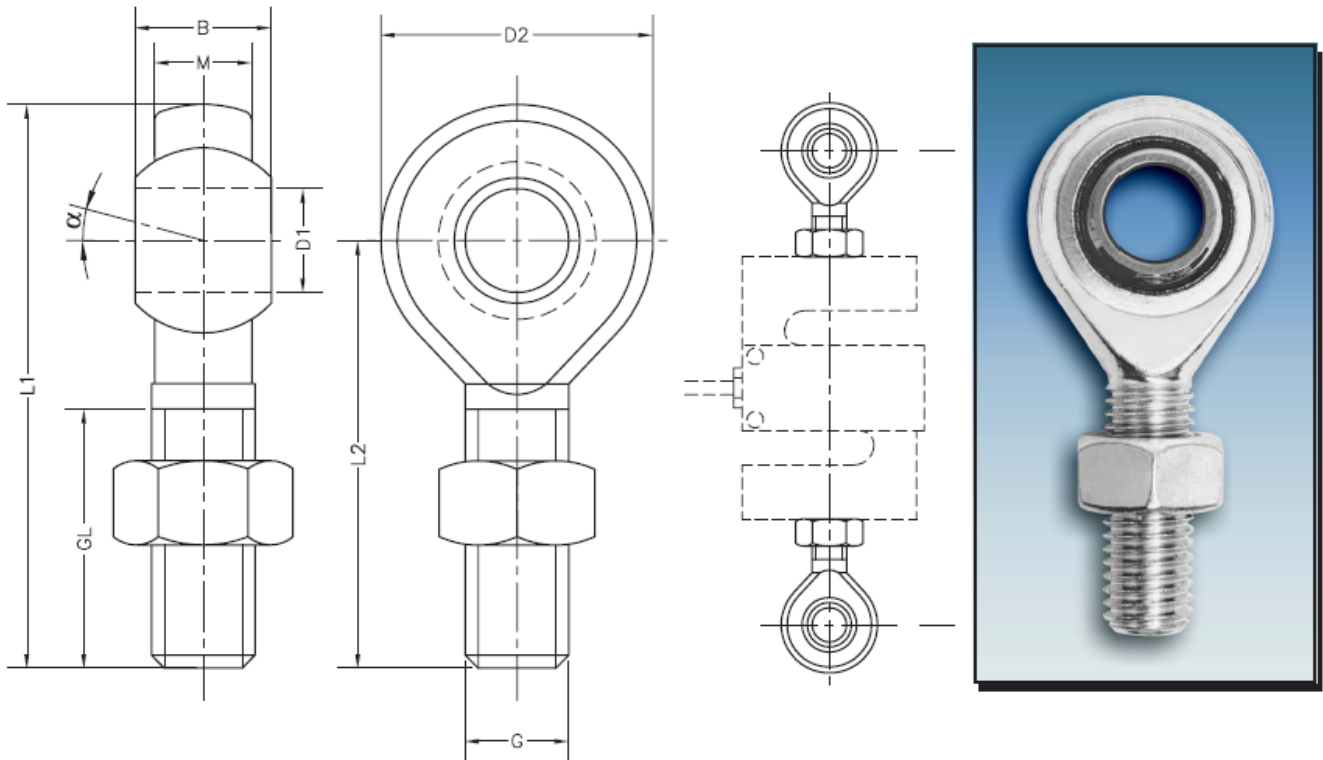
ACCESORIO TRACCION PARA MOD. 610
TENSION ACCESSORY FOR MODEL 610



- Cada accesorio contiene un juego con la parte superior y la parte inferior.
- Each accessory contains a set of the top and bottom.

Accesorio Accessory	Carga nominal Nominal load	A	B	C	D	E [□]	F	Carga límite Ultimate load	Peso transporte Transport weight	Material
TE10x1.5	50-100 kg	194	58.9	76.2	M10x1.5	30	138	400 kg	0.7 kg	Acero cincado
TE12x1.75	250...1000 kg	242.2	83	76.2	M12x1.75	35	154.2	2580 kg	1.4 kg	Steel zinc-plated

Dimensiones en mm. *Dimensions in mm.*

ROTULAS PARA EL MODELO 610
ROD ENDS FOR MODEL 610


- **Material: Acero cincado**
- **Cada accesorio RO contiene un juego de: 2 rótulas y 2 tuercas**

- **Material: Steel zinc-plated**
- **Each accessory RO includes a set of: 2 rod ends and 2 nuts**

Dimensiones Accesorios RO/ RO Accessories Dimensions

Accesorio Accessory	Capacidad/ Capacity (kg)	D2	B	M	D1	L1	L2	GL	G	α	F	Peso transp. Trans. weight
RO10x1.5	50-100	28	14	10.5	Ø10	62	48	29	M10x1.5	13°	138	0.2 kg
RO12x1.75	250-500-1000	32	16	12.0	Ø12	70	54	33	M12x1.75	13°	154.2	0.2 kg

 Dimensiones en mm. *Dimensions in mm.*