

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Diseño de un elevador hidráulico portátil para contenedores de 20 y 40 pies de  
longitud

INGE-2722

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Mecatrónica**

Presentado por:

Christopher David Urdánigo Bustamante

Sebastián Alejandro Hidalgo Sánchez

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## **Dedicatoria**

---

El presente proyecto lo dedico a Dios, fuente de fortaleza y guía en este camino. A mis padres, Jimmy Urdánigo y Alexandra Bustamante, cuyo amor, sacrificio y enseñanzas han sido el pilar fundamental de mi formación. A mis hermanos, Doménica y Sebastián por su apoyo incondicional y por ser una constante inspiración en mi vida. A mi compañero de tesis, con quien compartí esfuerzos y desafíos que nos condujeron hasta llegar al objetivo. Y en especial, a mi pareja Melissa Benítez, por su paciencia, motivación, por ser un apoyo vital durante mi vida académica y mi refugio en los momentos difíciles.

**Christopher Urdánigo Bustamante**

## **Dedicatoria**

---

El presente proyecto lo dedico a mi familia, especialmente a mis padres, Nelson y María del Pilar, quienes siempre me han apoyado en mi formación, incluso en los momentos más difíciles. A mis abuelitas, Juanita y Rosa, que, aunque ya no estén presentes, siempre me hicieron sentir amado y confiaron plenamente en mí. Y, por último, a mis amigos más cercanos, Marcelo y Manuel, quienes siempre han mostrado su estima y apoyo incondicional en todo momento.

**Sebastián Hidalgo Sánchez**

## Agradecimientos

---

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), a sus profesores y en especial a nuestro tutor de tesis, por brindarme el conocimiento, las herramientas y el espacio para desarrollar mis capacidades, permitiéndome alcanzar esta meta académica y profesional.

**Christopher Urdánigo Bustamante**

## Agradecimientos

---

Mi más sincero agradecimiento a Dios, por brindarme la fortaleza y resiliencia necesarias para superar los obstáculos que se han presentado en este camino. A mi familia, y en especial a mis padres, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional. A mis amigos, especialmente a mi compañero de tesis, Christopher, sin quienes no habría sido posible culminar tantos proyectos. Y, por último, a todos mis mentores y profesores, quienes, con su sabiduría, han sido fundamentales en la formación de la persona que hoy soy.

**Sebastián Hidalgo Sánchez**

## Declaración Expresa

---

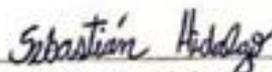
Nosotros, Sebastián Alejandro Hidalgo Sánchez y Christopher David Urdánigo Bustamante acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá a los autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

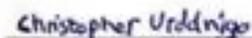
En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 21 de Octubre del 2024.



Sebastián Alejandro

Hidalgo Sánchez



Christopher David

Urdánigo Bustamante

## **Evaluadores**

---

**Marcelo Rodolfo Fajardo Puna, Ph.D.**

Profesor de Materia

---

**Carlos Augusto Zúñiga Reyes, M.Sc.**

Tutor de proyecto

## Resumen

El diseño propuesto ofrece una solución innovadora para las empresas que realizan mantenimiento e instalación de equipos de seguridad en contenedores, las cuales requieren su elevación antes y después de dichas operaciones. El objetivo es desarrollar un sistema de elevación hidráulico que integre ingeniería mecánica, eléctrica y de control industrial, garantizando un levantamiento seguro y eficiente de contenedores de 20 y 40 pies. Para ello, se empleó Autodesk Inventor para el diseño estructural y su validación, junto con cálculos de dimensionamiento. Además, TIA Portal, Automation Studio y CadeSIMU facilitaron la creación y validación de los circuitos hidráulicos, eléctricos y del programa de control. El sistema resultante, compuesto por cuatro soportes hidráulicos y con elevación máxima de 1.62 m en dos etapas, alcanzó factores de seguridad de 5.1 y 1.54 en análisis estático y dinámico, respectivamente. El control y monitoreo del proceso se gestionó mediante un PLC, que permite la visualización e interacción a través de una interfaz HMI. Para lograr una sincronización estable, se emplearon válvulas divisoras de flujo tipo engranaje, alcanzando un 100% de estabilidad durante el levantamiento. Su costo de construcción de \$16,559.96 posiciona al sistema como una alternativa competitiva, destacándose por su funcionalidad, eficiencia y seguridad.

**Palabras Clave:** Sincronización Hidráulica, Monitoreo y Control Industrial, Análisis Estructural, Diseño Mecánico

### ***Abstract***

*The proposed design offers an innovative solution for companies involved in the maintenance and installation of security equipment in containers, which require elevation before and after these operations. The objective is to develop a hydraulic lifting system that integrates mechanical, electrical, and industrial control engineering, ensuring a safe and efficient lifting of 20- and 40-foot containers. For this purpose, Autodesk Inventor was used for structural design and validation, along with dimensioning calculations. Additionally, TIA Portal, Automation Studio, and CadeSIMU facilitated the creation and validation of hydraulic and electrical circuits, as well as the control program. The resulting system, composed of four hydraulic supports with a maximum elevation of 1.62 meters in two stages, achieved safety factors of 5.1 and 1.54 in static and dynamic analysis, respectively. The control and monitoring process was managed by a PLC, allowing visualization and interaction through an HMI interface. To achieve stable synchronization, gear-type flow dividers were employed, achieving 100% stability during lifting. Its construction cost of \$16,559.96 positions the system as a competitive alternative, standing out for its functionality, efficiency, and safety.*

*Keywords: Hydraulic Synchronization, Industrial Monitoring and Control, Structural Analysis, Mechanical Design*

## Índice general

Resumen .....	I
Abstract .....	II
Índice general .....	III
Abreviaturas .....	VII
Simbología .....	VIII
Índice de figuras .....	X
Índice de tablas .....	XV
Índice de planos.....	XVII
Capítulo 1 .....	1
1.    Introducción .....	2
1.1    Descripción del problema.....	2
1.2    Justificación del Problema .....	4
1.3    Objetivos .....	5
1.3.1    Objetivo general .....	5
1.3.2    Objetivos específicos.....	5
1.4    Estado del arte .....	6
1.5    Marco teórico .....	9
1.5.1    Fundamentos de un Sistema Hidráulico.....	9
1.5.2    Válvulas Divisoras de Flujo .....	12
1.5.3    Consideración en la sincronización de cilindros .....	13
1.5.4    Sincronización de cilindros mediante control automatizado.....	14
1.5.5    Análisis Estructural de Elementos Mecánicos .....	16
1.5.6    Normativas de Seguridad .....	16
Capítulo 2.....	18

2.	Metodología .....	19
2.1	Requerimientos de diseño .....	19
2.2	Alternativas de solución .....	20
2.2.1	Alternativa de solución 1.....	20
2.2.2	Alternativa de solución 2.....	21
2.2.3	Alternativa de solución 3.....	22
2.2.4	Criterios de valoración .....	23
2.3	Proceso de diseño .....	24
2.4	Diseño mecánico .....	26
2.4.1	Diseño de forma .....	26
2.4.2	Diseño de ejes.....	28
2.4.3	Concentradores de esfuerzos en los ejes .....	34
2.4.4	Diseño de acople .....	36
2.4.5	Diseño de cordones de soldadura .....	41
2.4.6	Análisis Estructural .....	46
2.4.7	Características del mallado.....	50
2.4.8	Convergencia.....	51
2.4.9	Diseño Hidráulico .....	52
2.5	Diseño de Control Industrial .....	62
2.6	Diseño Eléctrico .....	74
2.7	Diseño integral del Elevador Hidráulico .....	77
Capítulo 3	.....	78
3.	Resultados y análisis .....	79
3.1	Componente mecánico .....	79
3.1.1	Soporte hidráulico .....	79
3.1.2	Análisis estructural (soporte hidráulico) .....	80

3.1.3	Resultados del análisis estructural (soporte hidráulico).....	84
3.1.4	Base móvil.....	85
3.1.5	Análisis estructural (Base móvil).....	86
3.1.6	Resultados del análisis estructural (base móvil).....	87
3.1.7	Análisis de Fatiga.....	87
3.2	Diseño final del sistema hidráulico.....	95
3.2.1	Unidad de potencia hidráulica.....	95
3.2.2	Valores de ajuste y conexiones del sistema hidráulico.....	99
3.2.3	Selección de equipos hidráulicos.....	100
3.2.4	Simulación y validación del proceso hidráulico.....	104
3.3	Componente de Control y Monitoreo.....	109
3.3.1	Programación.....	110
3.3.2	HMI y Sistema de Alarmas.....	118
3.3.3	Simulación y validación del programa.....	129
3.3.4	Selección de componentes de monitoreo y control.....	143
3.4	Componente eléctrico.....	146
3.4.1	Conexiones Eléctricas.....	146
3.4.2	Selección de equipos y componentes eléctricos.....	151
3.5	Análisis de costos.....	158
3.5.1	Materiales mecánicos.....	158
3.5.2	Equipos hidráulicos.....	161
3.5.3	Equipos eléctricos y de control industrial.....	162
3.5.4	Análisis de costo total.....	163
3.5.5	Comparativa con el mercado.....	163
Capítulo 4	.....	164
4.1	Conclusiones y recomendaciones.....	165

4.1.1	Conclusiones .....	165
4.1.2	Recomendaciones .....	167
	Referencias .....	169
	Apéndices .....	174

**Abreviaturas**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CAD	Computer-Aided Design
PID	Proportional-Integral-Derivative
FEA	Finite Element Analysis
ISO	International Organization for Standardization
ASME	American Society of Mechanical Engineers
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
HMI	Human-Machine Interface
ASTM	American Society for Testing and Materials
SMAW	Shielded Metal Arc Welding
USD	United States Dollar

**Simbología**

min	Minuto
s	Segundo
ton	Tonelada
kg	Kilogramo
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
l	Litro
gal	Galón
V	Voltios
VDC	Voltage Direct Current (Voltaje corriente continua)
A	Amperio
mA	Miliamperio
°	Grados sexagesimales
Hz	Hertz
N	Newton
$\sigma$	Esfuerzo axial
$\tau$	Esfuerzo cortante
Pa	Pascal
psi	Pounds per square inch (libra por pulgada cuadrada)
MPa	Mega Pascales
rev	Revoluciones
GPM	Galones Por Minuto

W	Watts
HP	Horse Power (Caballo de fuerza)

## Índice de figuras

Figura 1.1 Comparativa de longitud del contenedor de 20 pies y su respectivo chasis .....	3
Figura 1.2 Sistema convencional de elevación de contenedores: grúa pórtico .....	4
Figura 1.3 Cargador hidráulico de contenedores de SEM Machinery .....	7
Figura 1.4 Soportes hidráulicos de Stokes Industries .....	7
Figura 1.5 Sistema de soportes hidráulicos Tymbia .....	8
Figura 1.6 Tanque hidráulico .....	10
Figura 1.7 Bomba hidráulica .....	10
Figura 1.8 Filtros para sistemas hidráulicos .....	11
Figura 1.9 Válvulas reguladores de flujo .....	11
Figura 1.10 Cilindro hidráulico .....	12
Figura 1.11 Divisor de flujo tipo corredera .....	13
Figura 1.12 Divisor de flujo tipo engranaje .....	13
Figura 1.13 Símbolo de un divisor de flujo con válvulas de alivio de puerto cruzado .....	14
Figura 1.14 Representación de un sistema de control en lazo cerrado.....	15
Figura 2.1 Sistema Fijo de Elevación y Rotación con Control de Precisión para Contenedores.	21
Figura 2.2 Sistema Modular de Elevación con Sincronización Hidráulica y Portabilidad Mejorada .....	22
Figura 2.3 Sistema Portátil de Elevación con Sincronización de Flujo y Monitoreo Automatizado .....	23
Figura 2.4 Diagrama del proceso de diseño de la solución .....	25
Figura 2.5 Diseño estructural del elevador hidráulico (etapas).....	27
Figura 2.6 Diseño estructural de la base móvil .....	28
Figura 2.7 Ubicación del eje de apoyo del cilindro hidráulico (cáncamo inferior).....	32
Figura 2.8 Ubicación de los ejes de apoyo en la elevación del cilindro hidráulico .....	33
Figura 2.9 Ubicación del eje del soporte .....	34
Figura 2.10 Sistema de Acople entre camisa y contenedor.....	37
Figura 2.11 Sistema de acople apretado con la placa.....	38
Figura 2.12 Bloqueo del acople mediante giro de 90° .....	38
Figura 2.13 Vectores involucrados en el traslado de la cuarta parte del peso hacia la esquina izquierda inferior .....	39
Figura 2.14 Distribución del peso del contenedor en los soportes hidráulicos .....	40

Figura 2.15 Soldadura del apoyo inferior para el contenedor .....	42
Figura 2.16 Cálculo del perfil de soldadura (apoyo inferior).....	42
Figura 2.17 Soldadura del apoyo superior para el contenedor .....	43
Figura 2.18 Cálculo del perfil de soldadura (apoyo superior).....	43
Figura 2.19 Soldadura del apoyo para el actuador .....	44
Figura 2.20 Cálculo del perfil de soldadura (apoyo para el actuador) .....	44
Figura 2.21 Soldadura de la placa del apoyo inferior.....	45
Figura 2.22 Cálculo del perfil de soldadura (placa del apoyo inferior) .....	45
Figura 2.23 Soldadura de los tubos cuadrados de la base móvil.....	46
Figura 2.24 Cálculo del perfil de soldadura (tubos de la base móvil).....	46
Figura 2.25 Posición media de elevación (Escenario 1) .....	47
Figura 2.26 Restricciones y ubicación de fuerzas (Escenario 1).....	47
Figura 2.27 Posicionamiento sobre el eje de soporte (Escenario 2).....	48
Figura 2.28 Restricciones y ubicación de fuerzas (Escenario 2).....	48
Figura 2.29 Posición alta de elevación (Escenario 3) .....	49
Figura 2.30 Restricciones y ubicación de fuerzas (Escenario 3).....	49
Figura 2.31 Restricciones y ubicación de fuerzas (Base móvil) .....	50
Figura 2.32 Zona de convergencia (Desplazamiento).....	51
Figura 2.33 Convergencia del desplazamiento.....	52
Figura 2.34 Metodología del diseño hidráulico .....	53
Figura 2.35 Longitudes del recorrido de las mangueras en supuesto escenario.....	58
Figura 2.36 Volumen de la cámara de entrada de un cilindro hidráulico .....	60
Figura 2.37 Metodología del Diseño de Control Industrial.....	63
Figura 2.38 Partes principales del diseño del elevador .....	65
Figura 2.39 Primer estado del proceso de elevación .....	66
Figura 2.40 Segundo estado del proceso de elevación.....	67
Figura 2.41 Tercer estado del proceso de elevación .....	68
Figura 2.42 Cuarto estado del proceso de elevación.....	69
Figura 2.43 Quinto estado del proceso de elevación.....	70
Figura 2.44 Encendido y apagado del sistema motor-bomba .....	73
Figura 2.45 Lógica de los estados del programa.....	73
Figura 2.46 Diagrama de bloques de las conexiones del sistema .....	75

Figura 2.47 Circuito de potencia y control del sistema hidráulico.....	76
Figura 2.48 Diseño conceptual general .....	77
Figura 3.1 Diseño final del soporte hidráulico .....	79
Figura 3.2 Tensión de Von Mises (Escenario 1).....	80
Figura 3.3 Desplazamiento y Coeficiente de seguridad (Escenario 1).....	81
Figura 3.4 Tensión de Von Mises (Escenario 2) .....	81
Figura 3.5 Desplazamiento y Coeficiente de seguridad (Escenario 2).....	82
Figura 3.6 Tensión de Von Mises (Escenario 3) .....	83
Figura 3.7 Desplazamiento y Coeficiente de seguridad (Escenario 3).....	83
Figura 3.8 Diseño final Base móvil.....	85
Figura 3.9 Tensión de Von Mises (Base móvil).....	86
Figura 3.10 Desplazamiento y Coeficiente de seguridad (Base móvil) .....	87
Figura 3.11 Análisis estático (Von Mises) .....	88
Figura 3.12 Análisis estático (Primera y tercera tensión principal) .....	89
Figura 3.13 Análisis estático (coeficiente de seguridad).....	89
Figura 3.14 Variación del esfuerzo de Von Mises .....	90
Figura 3.15 Factor de tamaño para geometrías no circulares.....	92
Figura 3.16 Selección del factor de tamaño .....	93
Figura 3.17 Teorías de falla por fatiga .....	95
Figura 3.18 Modelo referencial de la unidad de potencia hidráulica .....	97
Figura 3.19 Componentes de la unidad de potencia hidráulica.....	97
Figura 3.20 Conexiones hidráulicas del sistema .....	99
Figura 3.21 Gráfica posición lineal (mm) vs tiempo (s) .....	105
Figura 3.22 Gráfica velocidad lineal (cm/s) vs tiempo (s) .....	106
Figura 3.23 Etiquetas de las presiones registradas durante la simulación.....	108
Figura 3.24 Gráfica presión (psi) vs tiempo (s).....	108
Figura 3.25 Asignación de prefijo para variables relacionadas a entradas o salidas físicas del PLC .....	110
Figura 3.26 Parte de la programación del bloque ASCENDER_Y_DESCENDER .....	111
Figura 3.27 Parte de la programación del bloque LOGICA_CAMBIO_ESTADOS.....	112
Figura 3.28 Parte de la programación del bloque CONVERTIDOR_BOOL_TO_INT .....	113
Figura 3.29 Parte de la programación del bloque LECTURA_ENTRADA_ANALÓGICA ....	113

Figura 3.30	Parte de la programación del bloque COMPROBAR_EJES .....	114
Figura 3.31	Parte de la programación del bloque VERIFICAR_SINCRONIZACION.....	115
Figura 3.32	Programa principal (main) - Encendido y apagado de electrobomba.....	115
Figura 3.33	Parte de la programación del bloque LECTURA_NIVEL_CILINDROS .....	116
Figura 3.34	Programa principal (main) – Aseguramiento de Acoples.....	117
Figura 3.35	Parte de la programación del bloque opcional SIMULAR_SUBIDAS_Y_BAJADAS .....	118
Figura 3.36	Plantilla base y sus elementos.....	119
Figura 3.37	Pantalla Inicio y sus elementos .....	120
Figura 3.38	Pantalla Control y Monitoreo de Elevación y sus elementos .....	121
Figura 3.39	Pantalla Control y Monitoreo de la Unidad de Potencia y sus elementos .....	125
Figura 3.40	Pantalla Global Screen y sus elementos.....	127
Figura 3.41	Alarmas Discretas del Sistema de Alarmas .....	128
Figura 3.42	Alarmas Analógicas del Sistema de Alarmas .....	128
Figura 3.43	Vinculación de las variables del PLC a las variables del Sistema de Alarmas .....	129
Figura 3.44	Inicio del programa – Baja presión del sistema.....	130
Figura 3.45	Encendido de la electrobomba – Fase 1.....	130
Figura 3.46	Estado de entradas del PLC – Fase 2.....	131
Figura 3.47	Elevación de la camisa, primera etapa de elevación – Fase 2 .....	131
Figura 3.48	Estado de entradas del PLC – Fase 3 .....	133
Figura 3.49	Descenso de los cilindros – Fase 3 .....	133
Figura 3.50	Estado de entradas del PLC – Fase 4.....	134
Figura 3.51	Estado de entradas del PLC – Fase 5.....	135
Figura 3.52	Segunda etapa de elevación – Fase 5.....	135
Figura 3.53	Aseguramiento de acoples – Fase 5.....	136
Figura 3.54	Levantamiento del Contenedor – Fase 5.....	136
Figura 3.55	Descenso del contenedor – Fase 5 .....	138
Figura 3.56	Levantamiento de los cilindros – Fase 3.....	139
Figura 3.57	Descenso completo del contenedor – Fase 2 .....	141
Figura 3.58	Ventana emergente Alertas – Paro de emergencia activado.....	142
Figura 3.59	Venta emergente Precaución – Incorrecta Puesta de Ejes .....	143
Figura 3.60	Imagen de referencia de módulo de señal 8 DI: 6ES7221-1BF32-0XB0.....	145

Figura 3.61 Imagen de referencia de módulo de señal 4 AI: 6ES7231-4HD32-0XB0.....	145
Figura 3.62 Circuito de Potencia.....	147
Figura 3.63 Componentes de entrada del Circuito de Control.....	148
Figura 3.64 Sensores de posición analógicos.....	148
Figura 3.65 Conexiones de PLC y módulos.....	150
Figura 3.66 Imagen de referencia del final de carrera 3SE5212-OCE10.....	153
Figura 3.67 Botón de emergencia tipo hongo 3SU1100-1HB20-1FH0.....	154
Figura 3.68 Fuente de poder 24 V LS25-150.....	155
Figura 3.69 Breaker 3P-20A .....	156
Figura 3.70 Contactor AC- 3 3RT2027-1BB40 .....	157
Figura 3.71 Guardamotor Clase 10 3RV20214CA10 .....	157

## Índice de tablas

Tabla 1.1 Comparación de características de los sistemas de elevación.....	9
Tabla 2.1 Requerimientos de diseño .....	19
Tabla 2.2 Descripción de los criterios de valoración .....	23
Tabla 2.3 Pesos relativos de los criterios de evaluación .....	24
Tabla 2.4 Selección de la alternativa de solución .....	24
Tabla 2.5 Propiedades mecánicas del acero AISI 4340 (705).....	29
Tabla 2.6 Factor de seguridad según su aplicación.....	29
Tabla 2.7 Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A 572/A572M.....	41
Tabla 2.8 Característica de la malla de simulación .....	50
Tabla 2.9 Resultados del análisis de convergencia .....	52
Tabla 2.10 Elementos principales del sistema hidráulico .....	53
Tabla 2.11 Elementos necesarios del sistema hidráulico .....	54
Tabla 2.12 Presiones requeridas para levantamiento del contenedor.....	56
Tabla 2.13 Fuerza máxima de pandeo del cilindro hidráulico .....	57
Tabla 2.14 Componentes distintivos en el sistema hidráulico .....	62
Tabla 2.15 Entradas y salidas físicas del sistema de monitoreo y control .....	63
Tabla 2.16 Consideraciones del primer estado.....	66
Tabla 2.17 Consideraciones del segundo estado .....	67
Tabla 2.18 Consideraciones del tercer estado .....	69
Tabla 2.19 Consideraciones del quinto estado .....	70
Tabla 2.20 Variables de control o monitoreo internas del programa .....	71
Tabla 3.1 Análisis estructural Escenario 1 .....	84
Tabla 3.2 Análisis estructural Escenario 2 .....	84
Tabla 3.3 Análisis estructural Escenario 3 .....	85
Tabla 3.4 Resultados del análisis estructural – Base móvil .....	87
Tabla 3.5 Propiedades del material .....	90
Tabla 3.6 Variación en la condición de carga .....	91
Tabla 3.7 Resumen del ciclo de esfuerzos .....	91
Tabla 3.8 Factor de superficie por su acabado superficial .....	92
Tabla 3.9 Factor de temperatura.....	94
Tabla 3.10 Factor de confiabilidad.....	94

Tabla 3.11	Características de la unidad de potencia hidráulica .....	96
Tabla 3.12	Valores de ajuste de las válvulas del sistema hidráulico.....	100
Tabla 3.13	Características técnicas del cilindro hidráulico SKU: WCT 3.5x32.....	101
Tabla 3.14	Características técnicas de la válvula de contrabalanceo VBCD ½ pulg SE .....	102
Tabla 3.15	Características de la válvula divisora de flujo de tipo engranaje HPR21-59 .....	102
Tabla 3.16	Características de la válvula reguladora de flujo IFP FCI-04 .....	103
Tabla 3.17	Características de la válvula direccional RH06021-024/00F.....	104
Tabla 3.18	Función y características de los elementos de la plantilla base.....	119
Tabla 3.19	Características de los elementos de la pantalla Inicio .....	120
Tabla 3.20	Características de los elementos de la pantalla Control y Monitoreo de Elevación	122
Tabla 3.21	Características de los elementos de la pantalla Control y Monitoreo de la Unidad de Potencia .....	125
Tabla 3.22	Características técnicas del PLC SIMATIC S7-1200: 6ES7214-1AG40-0XB0 .....	144
Tabla 3.23	Características técnicas del HMI KTP700 PN Basic: 6AV2123-2GB03-0AX0 .....	146
Tabla 3.24	Características técnicas del sensor de posición SGH10L.....	152
Tabla 3.25	Características técnicas del sensor de inductivo LM30-3015PA .....	153
Tabla 3.26	Características técnicas del sensor de presión LE3 .....	154
Tabla 3.27	Análisis de costos mecánicos (soporte hidráulico) .....	158
Tabla 3.28	Análisis de costos mecánicos (base móvil) .....	159
Tabla 3.29	Análisis de costos (componente hidráulico).....	161
Tabla 3.30	Análisis de costos (componente eléctrico y de control).....	162
Tabla 3.31	Costo total .....	163
Tabla 3.32	Comparativa con el mercado internacional.....	163

## Índice de planos

PLANO 1	Estructura soporte hidráulico
PLANO 2	Soldaduras soporte hidráulico
PLANO 3	Estructura - base móvil
PLANO 4	Eje de apoyo - cilindro y camisa
PLANO 5	Eje de sujeción del cilindro - parte inferior
PLANO 6	Eje de apoyo - camisa y soporte
PLANO 7	Eje de transporte
PLANO 8	Eje de giro - llantas del sistema de ruedas
PLANO 9	Eje de sujeción - sistema de ruedas y soporte fijo
PLANO 10	Soporte fijo
PLANO 11	Soporte
PLANO 12	Placa para eje inferior del cilindro
PLANO 13	Placa de sujeción del cilindro - perforado adicional
PLANO 14	Placa de sujeción del cilindro
PLANO 15	Placa de unión para la placa de protección
PLANO 16	Placa de protección para sensor de posición
PLANO 17	Placa de sujeción - válvula contrabalanceo
PLANO 18	Placa de sujeción simetría - válvula contrabalanceo
PLANO 19	Base del soporte - placa doblada
PLANO 20	Posiciones - soporte fijo
PLANO 21	Camisa deslizante
PLANO 22	Tubo cuadrado - camisa deslizante
PLANO 23	Placa de soporte superior
PLANO 24	Placa de unión para placa de soporte superior
PLANO 25	Orejera para ejes o cintas
PLANO 26	Placa guía para ejes
PLANO 27	Apoyo circular para ejes
PLANO 28	Base para apoyo circular
PLANO 29	Placa de soporte inferior
PLANO 30	Placa de unión para placa de soporte inferior - perforada
PLANO 31	Placa de unión para placa de soporte inferior

- PLANO 32 Acople fijo soldado
- PLANO 33 Acople de giro 90°
- PLANO 34 Placa de apoyo - final de carrera
- PLANO 35 Placa de apoyo - sensor inductivo
- PLANO 36 Posiciones - camisa deslizante
- PLANO 37 Estructura sistema de ruedas
- PLANO 38 Placa doblada - sistema de ruedas
- PLANO 39 Placa de giro - sistema de ruedas
- PLANO 40 Placa de separación - sistema de ruedas
- PLANO 41 Estructura mesa de componentes
- PLANO 42 Mesa - componentes hidráulicos
- PLANO 43 Tubo cuadrado - soporte de mesa
- PLANO 44 Placa de salida de mangueras
- PLANO 45 Placa de sujeción del regulador
- PLANO 46 Posiciones - mesa de componentes
- PLANO 47 Estructura base móvil
- PLANO 48 Tubo cuadrado - longitud 1100 mm
- PLANO 49 Tubo cuadrado - longitud 700 mm
- PLANO 50 Tubo cuadrado - longitud 800 mm
- PLANO 51 Tubo cuadrado - longitud 300 mm
- PLANO 52 Agarradera
- PLANO 53 Tubo cuadrado 2 - longitud 700 mm
- PLANO 54 Tubo cuadrado simetría - longitud 1100 mm
- PLANO 55 Posiciones - estructura base móvil
- PLANO 56 Circuito de Potencia
- PLANO 57 Conexiones del PLC
- PLANO 58 Entradas del PLC - Sensores
- PLANO 59 Señales de los sensores de posición
- PLANO 60 Circuito hidráulico

# Capítulo 1

## **1. Introducción**

Las empresas de seguridad dentro del sector logístico dependen del manejo eficiente de contenedores para llevar a cabo operaciones técnicas orientadas al control y supervisión de estos activos [1]. Sin embargo, el manejo de estos grandes volúmenes de carga requiere de infraestructuras y equipos especializados de elevación, que en su mayoría representan una gran inversión, por lo que, su adquisición suele representar un desafío significativo para aquellas empresas que no cuentan con los recursos financieros o técnicos suficientes [2]. El presente proyecto aporta con un diseño de solución innovador, portátil y de menor precio en comparación a los equipos tradicionales, que permite satisfacer las necesidades del sector.

El sistema diseñado presenta un dispositivo portátil con la capacidad de manipular contenedores dentro de áreas de trabajo empresariales, accionado por un sistema hidráulico, controlado y monitoreado por un PLC, haciendo que la elevación de contenedores sea una tarea sencilla y eficiente. Validado mediante análisis y simulaciones en programas de diseño de ingeniería, planteándose como una solución con gran potencial de crecimiento y aplicación en el país, contribuyendo a su desarrollo y al cumplimiento de los objetivos 8 y 9 de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas [3].

### **1.1 Descripción del problema**

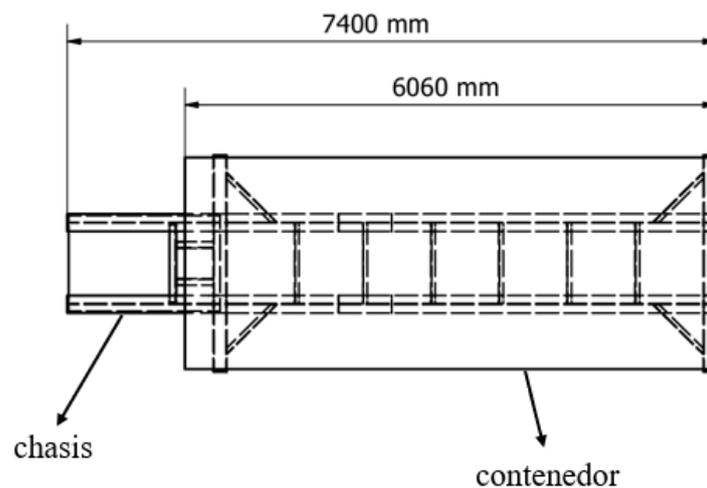
El presente proyecto trabaja con una empresa tecnológica de seguridad, reconocida en el mercado latinoamericano y ubicada en el sector de Pascuales, Ecuador. Esta empresa enfrenta el desafío de elevar contenedores de clientes que necesitan servicios de instalación de equipos de rastreo y seguridad. Actualmente, no se cuenta con la infraestructura necesaria, ya que, previamente no se han realizado trabajos de elevación de contenedores.

Por lo tanto, los clientes deben dejar en las instalaciones de la empresa el chasis junto con el contenedor vacío para que se realicen las instalaciones de equipos de rastreo y seguridad. Este

proceso se lleva a cabo en un galpón descubierto con espacio limitado para hasta dos contenedores de 40 pies de longitud. Sin embargo, el área que ocupa el chasis es mayor que la del contenedor, en ambos casos para los de 20 y 40 pies, lo cual dificulta las maniobras de instalación y limita la posibilidad de trabajar simultáneamente con más de un contenedor.

**Figura 1.1**

*Comparativa de longitud del contenedor de 20 pies y su respectivo chasis [4], [5]*



Por otro lado, la empresa no dispone del presupuesto necesario para la adquisición de soluciones convencionales de elevación que se pueden encontrar en el mercado actual, como un puente grúa o un brazo elevador, ya que, estos sistemas representan una alta inversión (equipos con capacidad de carga de 20 a 40 toneladas con precios oscilantes entre \$100000 a \$400000) en costos de instalación, adecuación de espacios, transporte de equipos y materiales, entre otros [6].

**Figura 1.2**

*Sistema convencional de elevación de contenedores: grúa pórtico [7]*



En su lugar, la empresa se plantea la implementación de un sistema de elevación compacto que cumpla con condiciones de seguridad de trabajo adecuadas y que permita la manipulación de los contenedores sin la necesidad de que el chasis sirva de apoyo, ahorrando espacio y aumentando la capacidad de maniobra en la instalación de los equipos de rastreo y seguridad.

## **1.2 Justificación del Problema**

Este proyecto se enfoca en el diseño de un sistema de elevación hidráulica portátil diseñado para contenedores de 20 y 40 pies de longitud, con el objetivo de asegurar un proceso de ascenso y descenso seguro y controlado. El elevador propuesto estará diseñado con un sistema de soporte en cuatro puntos estratégicamente ubicados, cada uno equipado con un actuador hidráulico. Estos actuadores operarán de manera conjunta para elevar el contenedor vacío, peso entre 2 y 4 ton dependiendo de su longitud [4], [8]; hasta una altura máxima de 1.6-1.7 metros, superando ampliamente la altura de 1.22 metros del chasis<sup>1</sup> [9]. Además, un sistema de control se encargará de gestionar la apertura y cierre de las válvulas que regulan los actuadores hidráulicos de cada

---

<sup>1</sup> Estructura que remolca el camión y soporta el contenedor.

soporte, y en conjunto a válvulas divisoras de flujo, logran una sincronización precisa asegurando estabilidad durante el levantamiento.

Este desarrollo es relevante porque permite una optimización del espacio de elevación al eliminar la necesidad del chasis, liberando así un área considerable que hace posible la instalación simultánea de hasta dos contenedores, con lo que se aumenta significativamente la capacidad operativa de las instalaciones. Asimismo, esta tecnología agiliza el proceso de instalación al reducir tiempos de maniobra y facilitar el acceso libre al área de trabajo, lo cual también conlleva un impacto económico positivo en la empresa debido a la optimización de recursos y la mejora en la eficiencia de las operaciones. Además, garantiza un entorno de trabajo seguro para los técnicos gracias a los dispositivos de seguridad en cada soporte.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Diseñar un sistema de elevación hidráulica mediante la integración de técnicas de ingeniería mecánica, eléctrica y control industrial, para garantizar el levantamiento seguro y eficiente de contenedores de 20 y 40 pies de longitud.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Desarrollar el control para la apertura y cierre de válvulas, así como la sincronización continua entre los soportes hidráulicos.
- Diseñar un sistema de seguridad electromecánico accionado por un controlador lógico programable en caso de detección de falla de algún soporte hidráulico.
- Generar planos detallados de fabricación de los elementos mecánicos del sistema mediante el programa CAD Inventor que facilite la comprensión tridimensional del diseño para su posterior elaboración.

- Generar planos eléctricos dónde se especifique las conexiones y sus diferentes tipos mediante programas avanzados de diseño eléctrico para la correcta instalación del sistema.
- Validar el funcionamiento del sistema hidráulico mediante simulaciones en los diferentes programas de ingeniería multidisciplinaria.

#### **1.4 Estado del arte**

El manejo y movimiento seguro de contenedores sigue siendo un desafío en diversas empresas, por lo que, los sistemas de elevación de soportes o gatos hidráulicos han surgido como una tecnología efectiva para facilitar su manipulación en cualquier tipo de espacio, proporcionando una solución flexible y compacta [10]

Existen también tecnologías capaces de girar el contenedor además de elevarlo. Un ejemplo es el dispositivo de elevación y bloqueo giratorio desarrollado por SEM Machinery para contenedores de 20 pies, que opera mediante un motor de 380 V y utiliza un sistema de transmisión completamente hidráulico. Este sistema permite giros de hasta 180° mediante control remoto, facilitando la operación por un solo operador. Además, el producto destaca por su seguridad y robustez excepcionales, como se ilustra en la Figura 1.3. Sin embargo, su peso considerable, entre 13 y 15 toneladas, limita su movilidad y portabilidad [11].

**Figura 1.3**

*Cargador hidráulico de contenedores de SEM Machinery [11]*



Por otro lado, utilizando nuevamente la tecnología de soportes o gatos hidráulicos, Stokes Industries ofrece un soporte hidráulico liviano y portátil que destaca porque, cada soporte está conectado a un dispositivo de elevación comprendido por partes móviles anidadas, véase Figura 1.4. Además, se emplea el uso de detectores de niveles para mantener al contenedor en una configuración nivelada al subirlo o bajarlo del camión [12].

**Figura 1.4**

*Soportes hidráulicos de Stokes Industries [12]*



Una versión similar, pero más versátil, ofrece Tymbia Handling & Warehouse Equipment. Estas patas hidráulicas están destinadas para la carga y descarga de contenedores marítimos de 20 hasta 40-45 pies y 32 toneladas en camiones tal como se muestra en la Figura 1.5, con una capacidad de elevación proporcionado por sus motores hidráulicos (230V-240V,50Hz) de 1.4 m y hasta 1.8 m para pedidos hechos a medida. Además, su construcción ligera y resistente facilita su transporte, así como una vida útil y duradera. Por sus especificaciones, este tipo de elevadores deben ser usados por un mínimo de dos operadores, aunque por su disposición de ruedas y agarraderas, su manipulación se puede llevar a cabo con un solo operador [13].

**Figura 1.5**

*Sistema de soportes hidráulicos Tymbia [13]*



En la Tabla 1.1 se aprecia una comparativa en la variedad de especificaciones y características presentes en los productos que ofrecen las diferentes empresas mencionadas. Bajo estos precedentes, el dispositivo propuesto pretende conseguir un diseño que permita agilizar el proceso de levantamiento y así mismo se presente como una solución asequible y segura para pequeñas y medianas empresas.

**Tabla 1.1***Comparación de características de los sistemas de elevación*

Elevador	Carga soportada [kg]	Voltaje [V]	Elevación máxima [m]	Manejo del contenedor	Instalación
SEM Machinery	30000	380	2.97	Elevación y giro	Fija
Stokes Industries	32000	220	1.65	Elevación	Portátil
Tymbia	32000	230 - 240	1.4 – 1.8	Elevación	Portátil - Sistema de ruedas

## 1.5 Marco teórico

### 1.5.1 Fundamentos de un Sistema Hidráulico

En un sistema hidráulico, el transmisor de energía es el fluido hidráulico; además, es fundamental para garantizar el buen funcionamiento y la durabilidad de los componentes del sistema. También contribuye a disipar el calor y reducir las fugas [14]. Para seleccionar un fluido hidráulico adecuado, es importante considerar su viscosidad, ya que esta afecta la transferencia de calor y la eficiencia tanto mecánica como volumétrica del sistema, características esenciales para un rendimiento óptimo [15].

En un sistema hidráulico, al menos, se encuentran los siguientes componentes:

- Tanque hidráulico: Contenedor que almacena el fluido, con un diseño que tiene como objetivo disipar el calor y separar el aire del fluido. Para el correcto dimensionamiento de su volumen, se recomienda que sea de 3 a 5 veces el flujo del caudal por minuto añadiendo un 10% de espacio destinado como colchón para el aire [16].

**Figura 1.6**

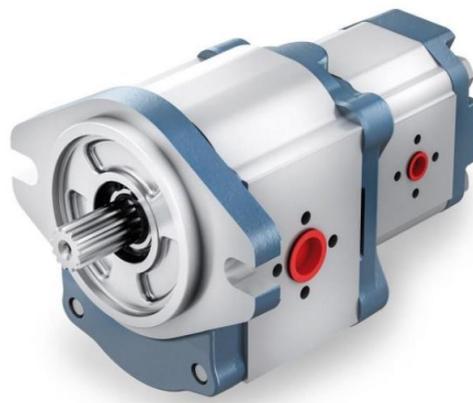
*Tanque hidráulico [17]*



- Bombas hidráulicas: Convierte la energía mecánica en energía hidráulica proporcionando, de esta manera, un caudal y una presión adecuada para todo el sistema. Un motor eléctrico o a gasolina es el encargado de generar inicialmente la energía mecánica, creando un vacío en la entrada que permite que la presión atmosférica impulse el fluido a través del conducto hacia la cámara de salida [18].

**Figura 1.7**

*Bomba hidráulica [19]*



- Filtro: Lubrica y engrasa al fluido. Importante, también, para controlar la contaminación de impurezas en el fluido y mejorar la vida útil de todos los componentes del sistema [18].

**Figura 1.8**

*Filtros para sistemas hidráulicos [20]*



- Válvulas de control y distribución: Son componentes esenciales que regulan la potencia y el flujo del fluido en el sistema hidráulico. Existen tres tipos principales: válvulas de control direccional, válvulas reguladoras de flujo y válvulas reguladoras de presión. Las válvulas de control direccional determinan el camino que seguirá el fluido dentro del circuito. Las válvulas reguladoras de flujo permiten ajustar el caudal en distintas líneas del circuito, ayudando a controlar la velocidad de los actuadores cuando sea necesario. Por último, las válvulas reguladoras de presión protegen el sistema de posibles sobrepresiones [21].

**Figura 1.9**

*Válvulas reguladores de flujo [22]*



- **Actuadores:** Cuando el fluido llega a estos componentes, la energía hidráulica se convierte en movimiento: los cilindros generan movimiento lineal, mientras que los motores producen movimiento rotativo [18]. Según la aplicación, algunos sensores se utilizan en conjunto con estos actuadores. Por ejemplo, en el caso de los cilindros, se emplean transductores de posición para una detección precisa de la posición del vástago. Esto es especialmente útil cuando el control preciso de la posición es crucial para el funcionamiento del sistema [23].

**Figura 1.10**

*Cilindro hidráulico [24]*



### **1.5.2 Válvulas Divisoras de Flujo**

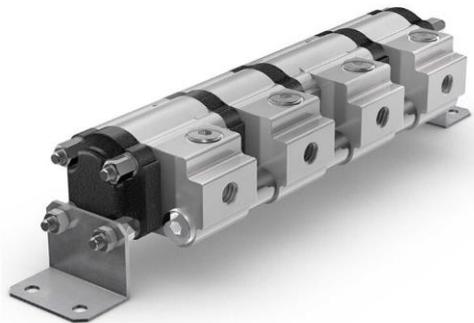
Este tipo de válvula separa el flujo en dos o más rutas de forma igual o desigual, según su configuración. También, puede compensar diferencias de presión entre las salidas, permitiendo un funcionamiento equilibrado en la mayoría de los casos [25].

Existen 2 tipos:

- **Divisor de flujo de corredera:** Separa el fluido en dos partes, generalmente de manera igualitaria. Si el flujo circula en sentido contrario, las dos corrientes se combinarán en una sola. Esta válvula requiere muy poco mantenimiento y ofrece una alta precisión en su funcionamiento [25].

**Figura 1.11***Divisor de flujo tipo corredera [26]*

- Divisor de flujo de engranajes: Separa el fluido en dos o más partes iguales, manteniendo ratios constantes en la división, los cuales no se ven afectados por las variaciones en las cargas de los actuadores, gracias a la compensación de presión proporcionada por su conexión interna. Su aplicación más común es en la sincronización de cilindros con diferentes cargas [25].

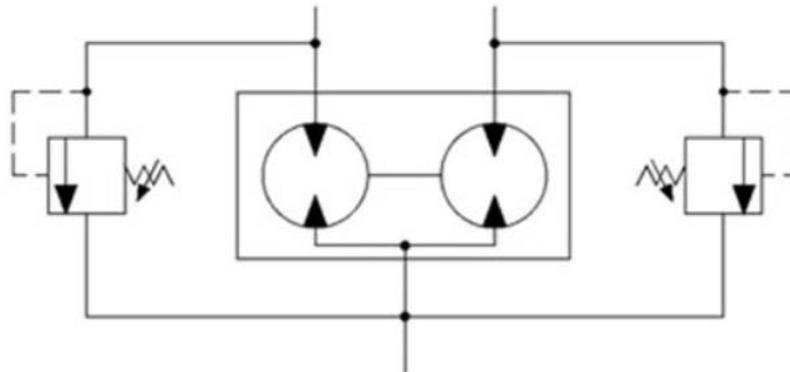
**Figura 1.12***Divisor de flujo tipo engranaje [26]*

### ***1.5.3 Consideración en la sincronización de cilindros***

La sincronización de cilindros hidráulicos utilizando un divisor de flujo tipo engranaje es propensa a fallos, incluso con compensación de presión, debido a la alta estanqueidad del propio divisor. Para garantizar una sincronización duradera, es necesario realizar ajustes adicionales. Estos ajustes incluyen la incorporación de válvulas de alivio de puerto cruzado, cuya configuración dependerá del número de salidas del sistema, como se muestra en la Figura 1.13 [27].

**Figura 1.13**

*Símbolo de un divisor de flujo con válvulas de alivio de puerto cruzado [27]*



El propósito de las válvulas de alivio de puerto cruzado es permitir un deslizamiento controlado para mantener la sincronización de los actuadores. Además, contribuyen a la absorción de impactos en el sistema [27].

#### **1.5.4 Sincronización de cilindros mediante control automatizado**

Por otra parte, otro método para verificar la sincronización de un sistema hidráulico es el sistema de control en lazo cerrado. Estos sistemas relacionan las señales de salida y de entrada mediante una señal de retroalimentación, por la cual la señal de salida influye sobre la señal de entrada [28]. Generalmente estas señales de control son procesadas por controladores, entre los cuales se tiene principalmente al PLC y al controlador PID.

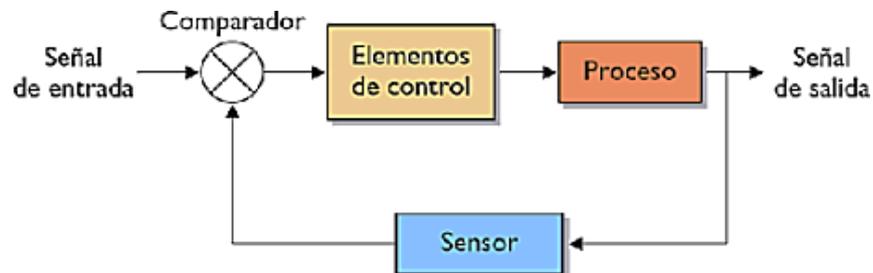
El PLC es un sistema electrónico que posee memoria programable, en la que se guardan instrucciones de control que permiten al controlador ejecutar funciones en base a la información receptada, interpretando el entorno de las máquinas y procesos mediante módulos de entradas y salidas digitales y analógicas [29].

EL controlador PID o control proporcional integral derivativo es un algoritmo de control con amplia aceptación en la industria, debido a su sólido rendimiento en una amplia variedad de condiciones de funcionamiento. Este dispositivo funciona tomando datos de sensores, comparando

el valor actual de una variable con el valor objetivo deseado y ajusta las salidas para regular parámetros como flujo, velocidad, presión o voltaje [30].

**Figura 1.14**

*Representación de un sistema de control en lazo cerrado [28]*



En el contexto del proyecto es indispensable que la respuesta del sistema permita realizar la elevación de cada contenedor sin que se presenten oscilaciones o desviaciones. En este caso, la señal de entrada especifica los parámetros de funcionamiento del sistema como la velocidad o la altura, mientras que la salida ajusta la posición y estabilidad del contenedor. Por otro lado, los elementos de control, como un controlador PID y/o PLC permiten regular el flujo del sistema hidráulico y los sensores permiten mantener el control en tiempo real, asegurando una operación segura y eficiente.

Programas como Automation Studio y TIA Portal de Siemens permiten crear sistemas de control automatizados con la capacidad de sincronizar los parámetros antes mencionados. Por una parte, Automation Studio facilita el diseño, animación y simulación de procesos de automatización complejos que incluyen componentes hidráulicos, neumáticos y eléctricos [31]. Por otro lado, TIA Portal, de la empresa SIEMENS, proporciona un entorno unificado que abarca desde la configuración de controladores periféricos hasta la gestión de la energía, integrando la funcionalidad de cada componente en un solo sistema de control. Esta unificación permite implementar y sincronizar múltiples sistemas, optimizando el control automatizado en aplicaciones de requerimiento complejos [32].

### ***1.5.5 Análisis Estructural de Elementos Mecánicos***

En el diseño de elementos mecánicos es fundamental evaluar la durabilidad, confiabilidad, seguridad y desempeño. Esto se realiza mediante un análisis exhaustivo de los tipos de esfuerzos a los que el diseño estará sometido bajo diversas condiciones de carga. A través de cálculos detallados, se determina la distribución del esfuerzo de Von Mises, las deformaciones y el factor de seguridad en todo el diseño, facilitando así una evaluación precisa de su comportamiento estructural [33].

Dada la matemática, hoy en día se emplean herramientas computacionales como programas de diseño mecánico. Uno de los más utilizados es Autodesk Inventor, que además de realizar análisis de esfuerzos, permite modelar sólidos y generar planos 2D, facilitando así la creación de elementos mecánicos [34]. Inventor realiza el análisis de esfuerzos, en estática y en dinámica, mediante el método de elementos finitos (FEA), el cual consiste en dividir una geometría compleja en pequeñas partes o "elementos" y resolver las ecuaciones mediante álgebra lineal [35].

### ***1.5.6 Normativas de Seguridad***

El diseño de sistemas de elevación hidráulica se rige a ciertas normas tanto internacionales como locales que permiten establecer requisitos de seguridad, diseño, operación y mantenimiento. A continuación, se presentan brevemente ciertas normas específicas que abarcan la idea de diseño del proyecto de titulación:

- Norma ISO 4413: Esta norma de la Organización Internacional de Normalización cubren los requisitos de seguridad para el diseño y fabricación de maquinaria de manipulación y de elevación, aplicable a grúas y elevadores hidráulicos de gran capacidad. Incluye normas sobre estabilidad, resistencia estructural y procedimientos de operación segura. Además, destaca la importancia de sistemas de protección [36].

- Norma ASME B30.1: La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos proporciona en esta norma, lineamientos para el diseño y operación de dispositivos de elevación hidráulicos y neumáticos. Enfatiza la necesidad de pruebas de carga, inspección regular y criterios de seguridad para componentes que se consideran críticos en el sistema como válvulas, cilindros y controles hidráulicos, los cuáles deben estar diseñados para soportar determinadas cargas sin riesgo de fallo en un proceso de operación del sistema [37].

## **Capítulo 2**

## 2. Metodología

Por medio de la investigación primaria se conocieron cuáles son los aspectos, necesidades y solicitudes que la empresa busca en la propuesta de solución, al definir estos aspectos se extrajeron los requerimientos de diseño, luego se propuso diferentes alternativas de solución y dados los criterios de valoración se escogió la más adecuada para el caso. Posteriormente, se definió el proceso de diseño integrando los aspectos y criterios requeridos para la solución, dando paso a la definición del proceso a seguir desde la selección de alternativas hasta el diseño mecánico, eléctrico y de control. Finalmente, se procedió a realizar la estructuración del diseño del sistema, el cual cuenta con una parte mecánica relacionada al modelamiento de los soportes hidráulicos, una parte eléctrica relacionada al accionamiento y activación de componentes eléctricos y por último una parte de control dedicada al control y monitoreo de la elevación, así como al correcto funcionamiento del sistema.

### 2.1 Requerimientos de diseño

En la Tabla 2.1 se detallan los requerimientos de diseño que se establecieron para el sistema de elevación hidráulico, necesarios para obtener características, funcionamientos y cualidades específicas.

**Tabla 2.1**

*Requerimientos de diseño*

<b>Capacidad de carga</b>	El sistema debe ser capaz de soportar el peso en vacío de los contenedores de 20 y 40 pies de longitud, entre 2 y 4 ton respectivamente
<b>Rango de elevación</b>	El sistema debe ser capaz de elevar y bajar los contenedores en un rango de 0 a 1.6-1.7 m
<b>Seguridad</b>	Se requiere de mecanismos de seguridad ante la detección de alguna falla en el proceso de elevación.

<b>Estabilidad</b>	El diseño debe ser capaz de realizar un levantamiento estable sin presentar deformaciones durante el proceso
<b>Control y monitoreo continuo de actuadores</b>	El sistema deberá de ser capaz de supervisar continuamente el movimiento de los actuadores, regulando de manera precisa la presión y el flujo hacia los cilindros en caso de ser necesario
<b>Costo</b>	El sistema deberá tener un menor costo en comparación con los equipos de elevación tradicionales disponibles en el mercado de precios entre \$100000 a \$400000
<b>Facilidad de uso</b>	La interfaz y uso del sistema será intuitivo, no requerirá de personal experimentado ni de conocimientos y capacitaciones especiales.
<b>Portabilidad</b>	El sistema requiere de un diseño que permite su fácil transporte, montaje y almacenamiento

## 2.2 Alternativas de solución

Las alternativas de solución propuestas basadas en la información obtenida de los requerimientos de diseño y el contenido del marco teórico, cumplen con las características necesarias para ser una opción de implementación para la empresa, pero, para hallar la alternativa con mejor rendimiento y viabilidad se siguieron ciertos criterios de valoración que permitieron establecer un orden de prioridad en la selección de la alternativa.

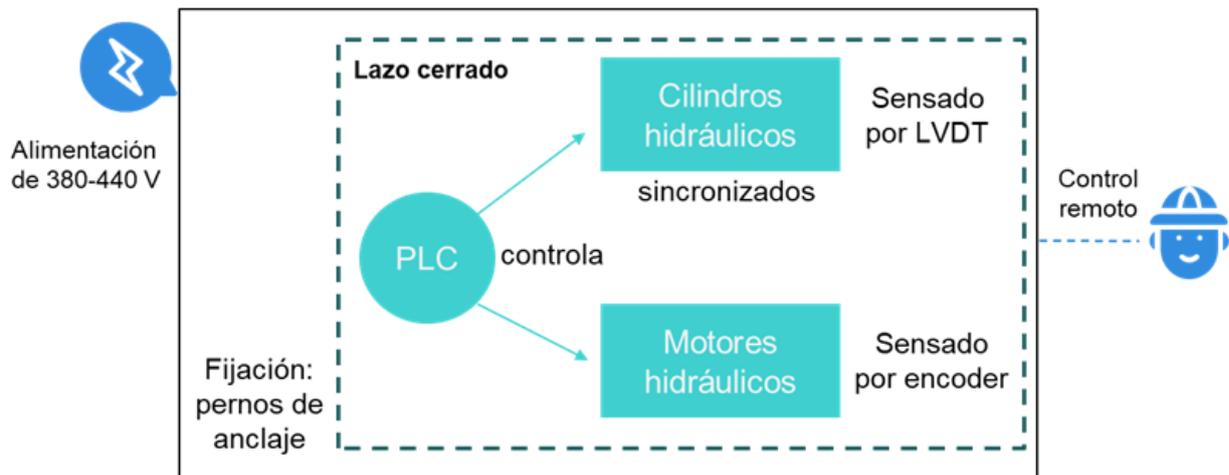
### 2.2.1 Alternativa de solución 1

Diseño de un sistema para la elevación y rotación de contenedores, empleando cilindros y motores hidráulicos para cada función, respectivamente. El sistema opera bajo un control en lazo cerrado gestionado por un PLC. Para la detección de posición lineal y angular, se utilizarán sensores LVDT y encoders, respectivamente, los cuales proporcionarán señales de retroalimentación al sistema de control. Esto permitirá regular de forma precisa la presión y el flujo hacia las válvulas que controlan el movimiento de los actuadores. Además, la instalación del sistema se fija mediante pernos de anclaje y debido a su robustez se destina un área específica para

su montaje, dónde se deberá tener cerca una alimentación de 380-440 V. Un solo operador podrá acoplar o desacoplar el contenedor del sistema y activar su elevación mediante un control remoto (Figura 2.1).

**Figura 2.1**

*Sistema Fijo de Elevación y Rotación con Control de Precisión para Contenedores*

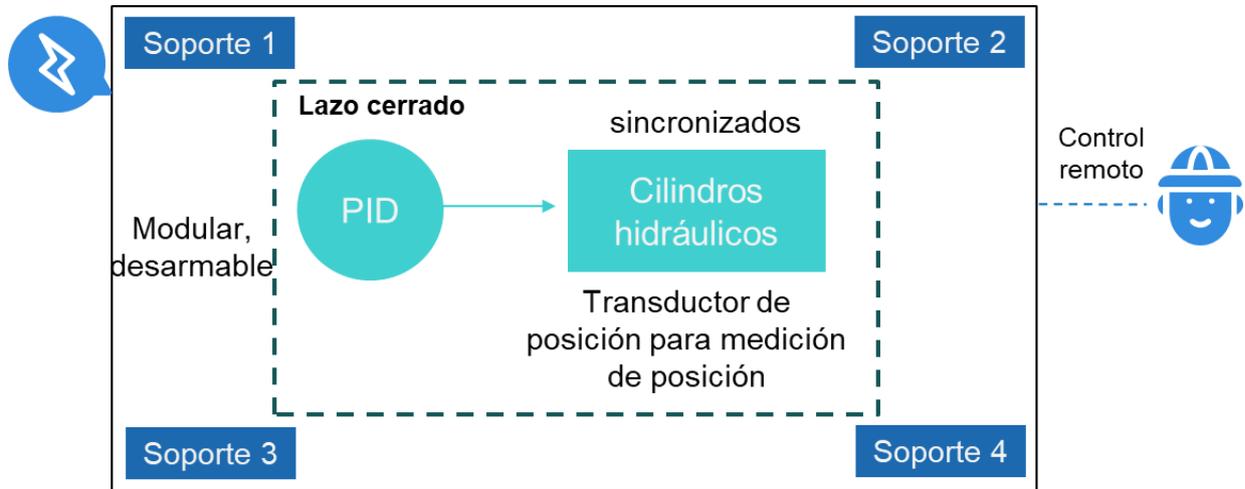


### 2.2.2 Alternativa de solución 2

Diseño de un sistema de elevación de contenedores de cuatro soportes con actuadores accionados hidráulicamente. El control de la sincronización de los cuatro cilindros se gestiona mediante un controlador PID, utilizando un transductor de posición para la detección de la posición individual de cada pistón. Estas señales emitidas sirven de retroalimentación al sistema en lazo cerrado para controlar la apertura y cierre de las válvulas que controlan el movimiento de los actuadores. Mediante un control remoto, una sola persona será capaz de operar el sistema. Además, la alimentación requerida será de 220-240 V. Su estructura es modular, permitiendo que el sistema se pueda armar y desarmar, haciéndolo portátil y que no requiera de estaciones fijas de trabajo (Figura 2.2).

**Figura 2.2**

*Sistema Modular de Elevación con Sincronización Hidráulica y Portabilidad Mejorada*

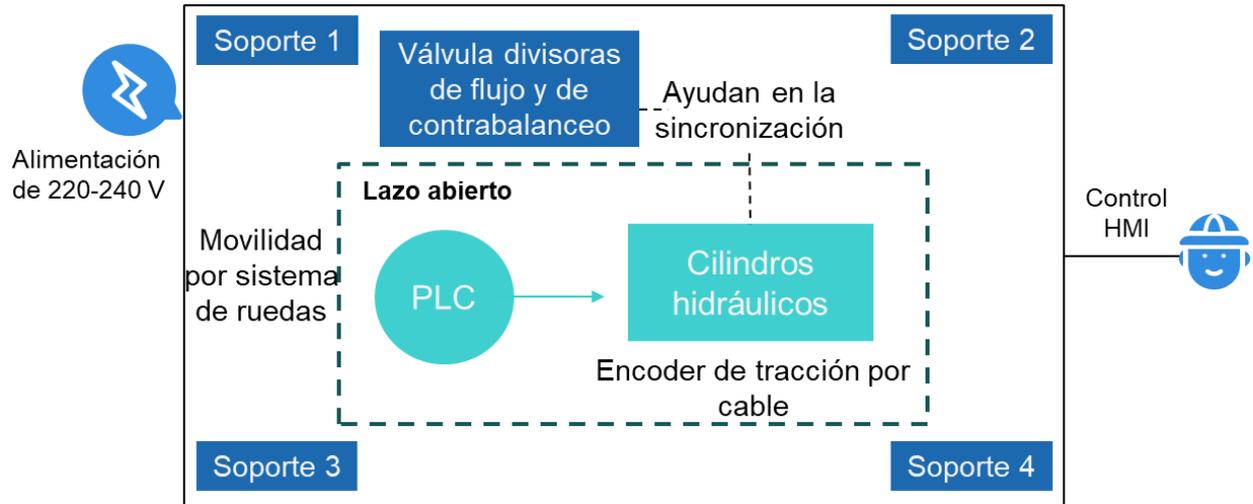


### 2.2.3 Alternativa de solución 3

Diseño de un sistema de elevación de contenedores de cuatro soportes, cada uno equipado con actuadores hidráulicos. Válvulas divisoras de flujo distribuirán el mismo caudal a los cuatro cilindros, logrando así la sincronización entre ellos. Además, para su constante monitoreo se empleará un PLC. Por otro lado, para asegurar un descenso seguro se usarán válvulas de contrabalanceo. Además, un encoder de tracción por cable en cada cilindro detectará la posición individual de cada pistón, proporcionando una señal analógica al sistema en lazo abierto. El accionamiento del sistema será operado por una sola persona mediante una pantalla HMI enlazada al controlador. Requiere una alimentación de 220-240 V y cuenta con un sistema de ruedas, facilitando su portabilidad y eliminando la necesidad de estaciones de trabajo fijas (Figura 2.3).

**Figura 2.3**

*Sistema Portátil de Elevación con Sincronización de Flujo y Monitoreo Automatizado*



#### 2.2.4 Criterios de valoración

Basado en los requerimientos de diseño, se establecieron los siguientes criterios de valoración, con los cuales se evalúan a las alternativas de solución.

La ponderación y comparación entre los criterios y soluciones da paso a la toma de decisión de la alternativa óptima para el proyecto.

**Tabla 2.2**

*Descripción de los criterios de valoración*

<b>Tamaño/Peso</b>	Se busca la reducción de espacio y mayor facilidad de instalación.
<b>Costo</b>	Monto bajo de inversión y factibilidad de adquisición, además de los costos de implementación y mantenimiento.
<b>Precisión y Monitoreo</b>	Mejor capacidad de respuesta del sistema en la elevación de los contenedores
<b>Flexibilidad</b>	Compatibilidad del sistema para su uso en contenedores de 20 y 40 pies de longitud
<b>Portabilidad</b>	Capacidad del sistema a ser transportable
<b>Seguridad</b>	Características estructurales y elementos de seguridad presentes en el sistema que permitan salvaguardar la integridad de los operadores durante su operación

Enfocándose en los aspectos que la empresa prioriza para el sistema se estableció un orden de relevancia para los criterios de valoración, otorgando pesos relativos a cada uno de estos.

$$\text{Seguridad} = \text{Costo} > \text{Precisión} > \text{Tamaño/Peso} > \text{Portabilidad} > \text{Flexibilidad}$$

**Tabla 2.3**

*Pesos relativos de los criterios de evaluación*

<b>Criterio</b>	Tamaño	Costo	Precisión	Flexibilidad	Portabilidad	Seguridad	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamaño/Peso		0	0	1	1	0	3	14
Costo	1		1	1	1	0.5	5.5	26
Precisión	1	0		1	1	0	4	19
Flexibilidad	0	0	0		0	0	1	5
Portabilidad	0	0	0	1		0	2	10
Seguridad	1	0.5	1	1	1		5.5	26
<b>Total</b>							21	100%

La evaluación de cada uno de los pesos específicos correspondientes a los criterios de evaluación (Anexo 1), y en relación con cada una de las posibles soluciones, dio como resultado el orden de prioridad que se muestra en la Tabla 2.4. Como se puede apreciar la alternativa de solución C resultó con el porcentaje más alto de aprobación de los criterios, seguido de la alternativa A y por último la alternativa B.

**Tabla 2.4**

*Selección de la alternativa de solución*

<b>Conclusión</b>	Tamaño	Costo	Precisión	Flexibilidad	Portabilidad	Seguridad	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.02	0.04	0.10	0.03	0.02	0.13	0.33	2
Solución B	0.06	0.09	0.05	0.01	0.04	0.04	0.29	3
Solución C	0.06	0.13	0.05	0.01	0.04	0.09	0.38	1

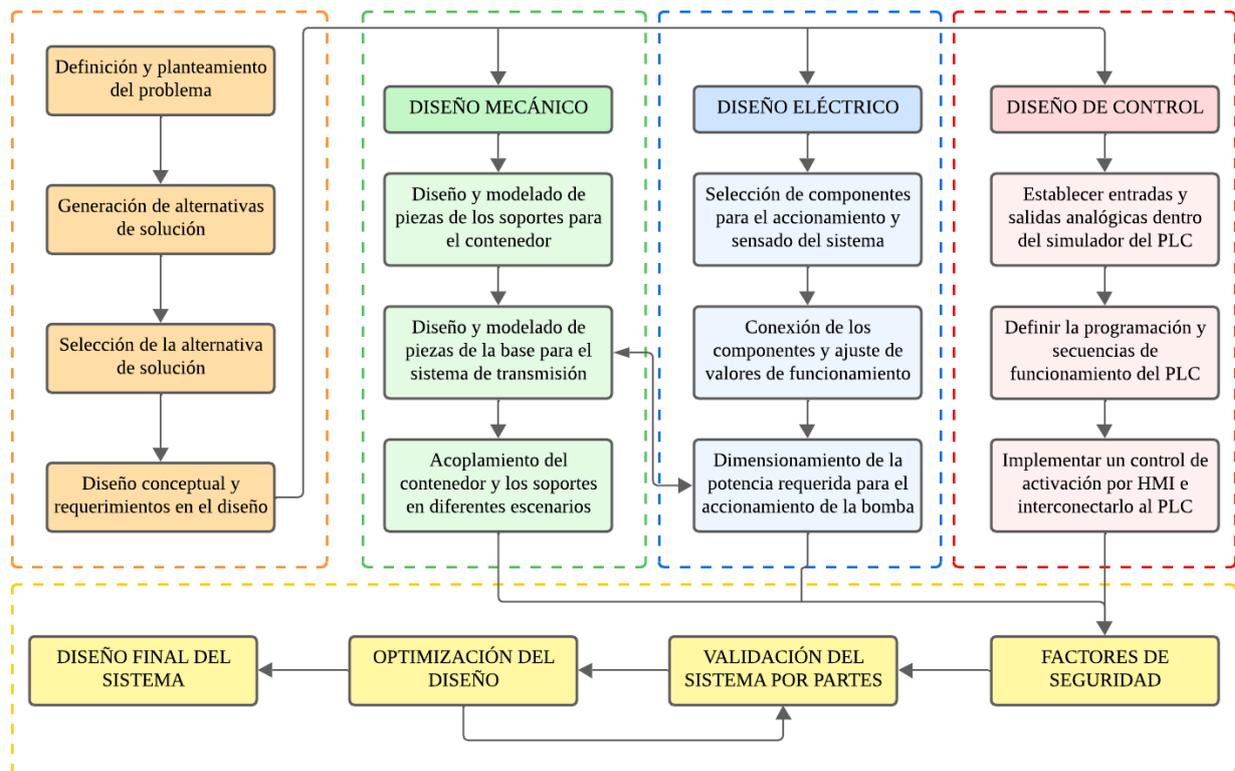
### 2.3 Proceso de diseño

Luego de haber seleccionado la alternativa de solución más adecuada para la problemática planteada, se procedió a realizar el procedimiento que se lleva a cabo de inicio a fin para obtener

un adecuado flujo en la elaboración del sistema. Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño y los objetivos del proyecto, se siguió el proceso que se muestra en el diagrama de la Figura 2.4 en la cual se evidencian cinco diferentes etapas que se detallan posteriormente.

**Figura 2.4**

*Diagrama del proceso de diseño de la solución*



La primera etapa del proceso involucra las secciones de definición del problema, selección de alternativas de solución y el desarrollo del diseño conceptual en base a los requerimientos dados por el cliente. A continuación, las etapas de diseño mecánico, eléctrico y de control, detallan generalmente el proceso a llevar a cabo relacionado a cada una de estas actividades, estas etapas se entrelazan para conseguir un sistema mecatrónico que trabaje simultáneamente obteniendo resultados individuales y relacionándolos para su posterior integración. Por último, en el diseño de un sistema mecatrónico se procura seguir una serie de procedimientos y factores de seguridad relacionados a las normativas nacionales e internacionales, lo que da paso a la validación del sistema por medio de los simuladores Autodesk Inventor, Automation Studio y TIA Portal, luego

a la optimización del diseño en donde en caso de hallar errores o posibles mejoras que se le puedan asignar al sistema se las puede implementar y validar nuevamente hasta llegar al resultado esperado.

## **2.4 Diseño mecánico**

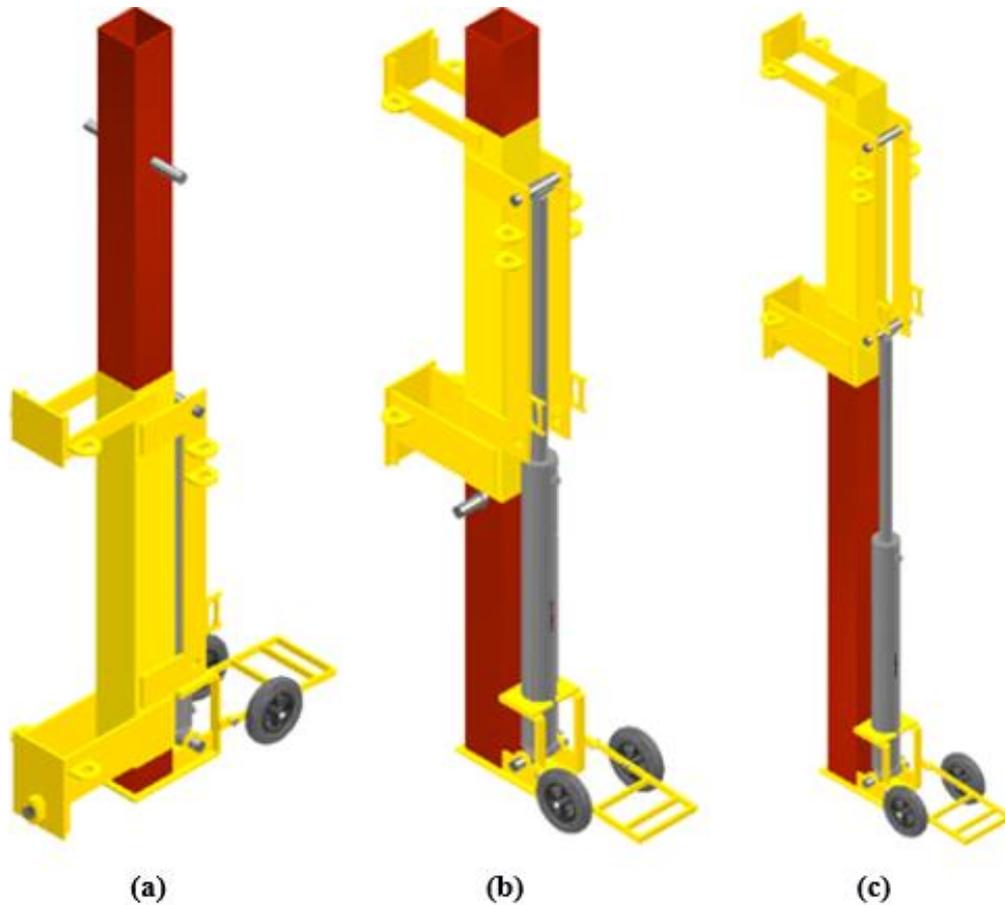
### **2.4.1 *Diseño de forma***

El diseño estructural del elevador hidráulico consta de varias secciones que se dividen en piezas destinadas al soporte de la estructura, elementos de acople, estructuras de transporte, entre otros. Su bosquejo empezó con la idea de separar el movimiento de elevación en diferentes etapas tal y como se puede apreciar en la Figura 2.5. Por otro lado, uno de los motivos que inspiró el diseño por etapas es el uso de un cilindro hidráulico comercial, como normalmente estos actuadores no alcanzan alturas aproximadas al valor requerido se llegó a la conclusión de que es necesario llevar a cabo el proceso de elevación en dos tiempos.

En primer lugar, se tiene a la camisa deslizante en la posición inferior del soporte, en esta posición el cuerpo entero puede ser almacenado y también ser transportado al área de trabajo requerido debido a la facilidad de transporte que proporciona el sistema de ruedas (Figura 2.5a).

Posteriormente, la camisa deslizante se encuentra en la posición de altura máxima de la primera etapa de elevación, para esto también fue necesario establecer ejes en ubicaciones específicas que sirvieran de apoyo en este escenario (Figura 2.5b).

Finalmente, en la segunda etapa de elevación se tiene la altura máxima absoluta de la camisa deslizante producto de alternar la ubicación del cáncamo del vástago del cilindro con sus ejes de apoyo (Figura 2.5c).

**Figura 2.5***Diseño estructural del elevador hidráulico (etapas)*

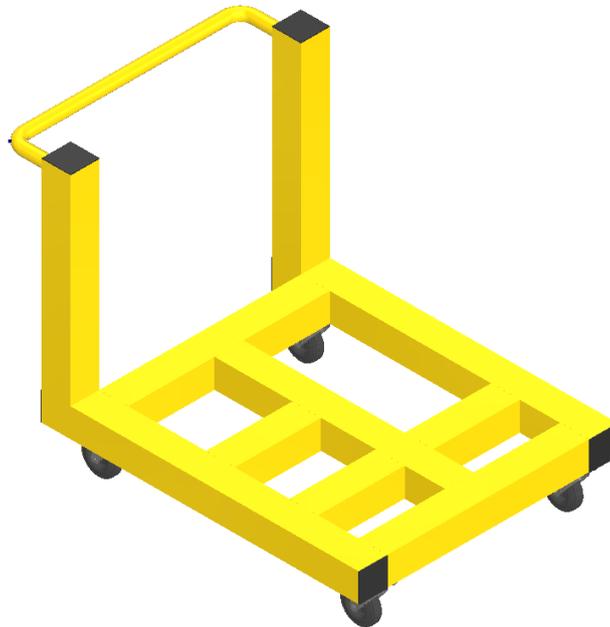
*Nota.* (a) camisa deslizante en la posición inferior del soporte, (b) camisa deslizante en la altura máxima de la primera etapa de elevación, (c) altura máxima absoluta, alcanzada en la segunda etapa de elevación

Por otra parte, el sistema también estará conformado por una base móvil, la cual se diseñó con la finalidad de transportar y soportar componentes como el tablero eléctrico, la unidad de potencia hidráulica y una mesa de soporte para válvulas, por lo que, la base móvil es en esencia el soporte de todo el sistema distribuidor de energía necesaria para el funcionamiento del sistema.

En la Figura 2.6 se observa su estructura compuesta generalmente por tuberías cuadradas, ruedas giratorias y una barandilla de empuje.

**Figura 2.6**

*Diseño estructural de la base móvil*



#### **2.4.2 Diseño de ejes**

Dentro del sistema mecánico se dimensionó tres ejes los cuáles son parte del soporte hidráulico, cada uno ubicado en una sección específica del diseño con un propósito relacionado al levantamiento y soporte del contenedor.

Al tener cuatro soportes hidráulicos elevando al contenedor la carga se distribuye entre ellos y al saber que el contenedor tiene un peso aproximado de 4 toneladas, se estima que el peso que cada soporte carga es aproximadamente 1000 kg, considerando un 20% de este peso como factor correctivo, con el objetivo de cubrir el peso de otras piezas del sistema, fuerzas externas o variaciones ligeras del contenedor, se tiene un peso estimado de 1200 kg de carga para cada soporte.

Por otra parte, la selección del material es indispensable para obtener un cuerpo capaz de soportar las cargas requeridas. En la Tabla 2.5 se muestran las resistencias del acero seleccionado.

**Tabla 2.5**

*Propiedades mecánicas del acero AISI 4340 (705) [38]*

COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0,34	0,1- 0,35	0,60 - 0,80	0,04 - 0,30	0,002 - 0,03

PROPIEDADES MECÁNICAS				
DIÁMETRO (mm)	RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
16 o MENOS	1200 - 1400	1000	9	240 - 380
16 - 40	1100 - 1300	900	10	240 - 380
41 - 100	1000 - 1200	800	11	240 - 380

Se optó por emplear el material “Acero AISI 4043” con un límite elástico de 800 MPa, debido a su alto uso en maquinarias sometidas a altos esfuerzos.

Además del material, se debe seleccionar un factor de seguridad según la aplicación y la normativa empleada. ASME establece recomendaciones específicas para factores de seguridad dependiendo del tipo de carga, material y condiciones de operación. Estos valores se detallan en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6**

*Factor de seguridad según su aplicación [39]*

Factor de Seguridad	Especificaciones
1.25 - 2	Cargas estáticas, sin vibraciones ni impactos significativos, materiales con propiedades bien definidas y controles de calidad rigurosos
2.5 - 4	Cargas dinámicas, impactos o vibraciones frecuentes, o cuando la falla podría causar daño crítico

Dado que el sistema se encontrará alternadamente en reposo y en movimiento continuo por ciertos periodos de tiempo en el proceso de elevación de un contenedor, se estableció que 4 es un

factor de seguridad adecuado para garantizar robustez, longevidad y protección para el sistema y sus operarios.

*Parámetros iniciales:*

- Carga:

$$W = 1200kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 11772 N \quad (2.1)$$

- Resistencia del material:

$$\sigma_y = 800 MPa$$

- Factor de Seguridad:

$$S_f = 4$$

Por medio de estos parámetros, se obtuvo el esfuerzo permisible:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_y}{S_f} \quad (2.2)$$

$$\sigma_p = \frac{800}{4} = 200 MPa = 200 * 10^6 Pa$$

El esfuerzo máximo en un eje bajo flexión está relacionado con el momento aplicado, reorganizando dicha relación se obtuvo una fórmula para el diámetro:

$$M = \frac{\sigma_p * \pi * d^3}{32} \quad (2.3)$$

$$d = \left( \frac{32 * M_{max}}{\sigma_p * \pi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.4)$$

Al tener un eje soportado en ambos extremos con una carga puntual en el centro, el momento se puede expresar de la siguiente manera:

$$M_{max} = \frac{W * L}{4} \quad (2.5)$$

Asumiendo que inicialmente se tiene una longitud de 185 mm:

$$M_{max} = \frac{11772 * 0.185}{4} = 544.45 \text{ Nm}$$

$$d = \left( \frac{32 * 544.45}{200 * 10^6 * \pi} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.03026 \text{ m} = 30.26 \text{ mm}$$

Por otra parte, fue necesario determinar el esfuerzo cortante máximo que producen los apoyos del sistema, esto con el fin de verificar la resistencia del eje contra posibles fallas por corte en caso de que las fuerzas involucradas generen un valor significativo de esfuerzo. El esfuerzo cortante máximo viene dado por la fórmula:

$$\tau_{max} = \frac{4}{3} * \frac{V}{A} \quad (2.6)$$

Dónde:

V: Fuerza cortante máxima

A: Área transversal del eje

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (2.7)$$

$$A = \frac{\pi * 0.032^2}{4} = 8 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

La fuerza cortante será máxima justo a la izquierda o derecha del punto de aplicación de W/4 y está dado por:

$$V = \frac{W}{4} \quad (2.8)$$

Sustituyendo:

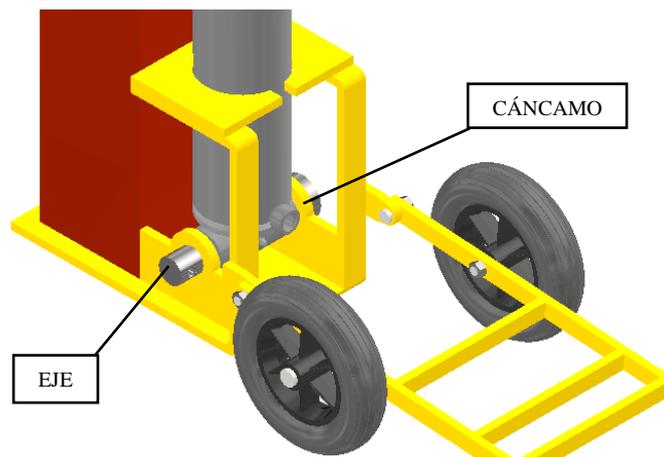
$$\tau_{max} = \frac{4}{3} * \frac{\frac{W}{4}}{A} = \frac{W}{3A}$$

$$\tau_{max} = \frac{11772}{3(8 * 10^{-4})} = 4.90 \text{ MPa}$$

El resultado de 4.90 MPa para el esfuerzo cortante máximo se comparó con el esfuerzo máximo permisible de 200 MPa y dado que es mucho menor no se consideró como un esfuerzo crítico en el diseño. Por consiguiente, como resultado se obtuvo que el diámetro requerido es de 30.26 mm y su longitud 185 mm. En adición, cabe recalcar que en el diseño mecánico sobredimensionar un eje permite aumentar la seguridad de un mecanismo, al aumentar parámetros como el diámetro y la longitud se otorga mayores características estructurales al eje haciéndolo más durable, rígido y con mayor tolerancia frente a imprevistos. En este caso, se optó por aumentar el diámetro a 32 mm y mantener la longitud de 185 mm para el eje que mantiene al cáncamo inferior del cuerpo del cilindro sujeto con la base del soporte. La disposición de los ejes se puede apreciar en la Figura 2.7.

**Figura 2.7**

*Ubicación del eje de apoyo del cilindro hidráulico (cáncamo inferior)*



Por otro lado, en el caso de los ejes que sirven de apoyo en la elevación y que harán contacto con el cáncamo recortado del vástago del cilindro, se realizó un reajuste en los cálculos, debido a que en esta sección se requiere de una longitud mayor.

Asumiendo que se tiene una longitud de 210 mm:

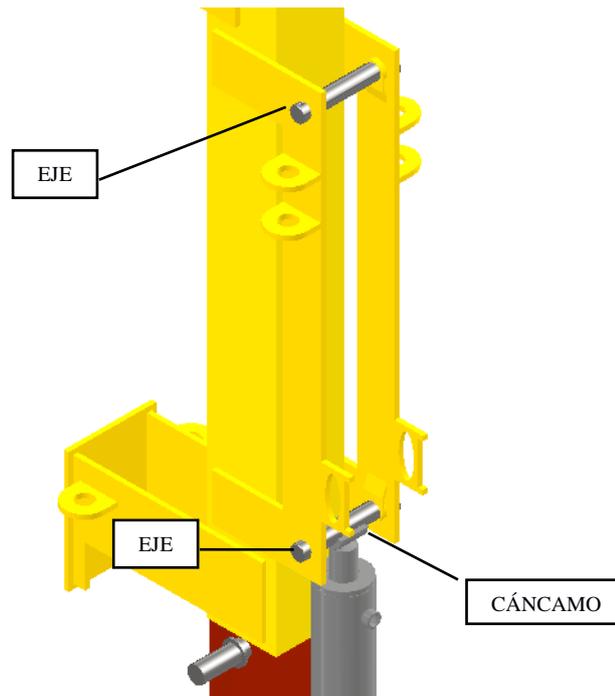
$$M_{max} = \frac{11772 * 0.210}{4} = 618.03 \text{ Nm}$$

$$d = \left( \frac{32 * 618.03}{200 * 10^6 * \pi} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.03157 \text{ m} = 31.57 \text{ mm}$$

Con los datos obtenidos, se optó por establecer el diámetro a 32 mm y mantener una longitud de 210 mm. La disposición de los ejes se puede apreciar en la Figura 2.8.

**Figura 2.8**

*Ubicación de los ejes de apoyo en la elevación del cilindro hidráulico*



Por último, el sistema de elevación hidráulica cuenta con un eje situado en el soporte fijo que sirve de descanso para la camisa, su ubicación fue establecida con el objetivo de soportar el peso del contenedor cuando el sistema de elevación requiere de un cambio de posición en la sujeción de uno de los ejes de apoyo en la elevación del sistema.

Asumiendo que se tiene una longitud de 255 mm:

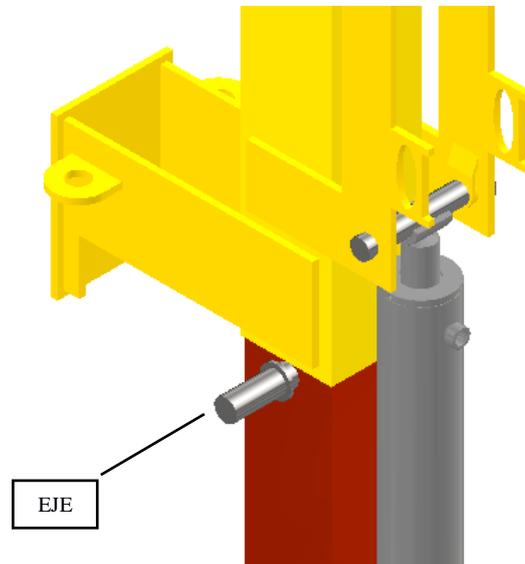
$$M_{max} = \frac{11772 * 0.255}{4} = 750.46 \text{ Nm}$$

$$d = \left( \frac{32 * 750.46}{200 * 10^6 * \pi} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.03368 \text{ m} = 33.68 \text{ mm}$$

Para este caso, se optó por sobredimensionar al eje estableciendo su diámetro a 36 mm y manteniendo la longitud de 255 mm. La disposición del eje se puede apreciar en la Figura 2.9.

**Figura 2.9**

*Ubicación del eje del soporte*



### 2.4.3 Concentradores de esfuerzos en los ejes

Para el cálculo de los factores de concentración de esfuerzos en los ejes del sistema, se consideran las zonas discontinuas en sus diseños.

En el caso del eje de la Figura 2.6, se tienen dos casos de estudio:

#### **Agujero pasante de 10 mm de diámetro.**

Parámetros iniciales:

Diámetro del eje  $d = 32 \text{ mm}$

Diámetro del agujero  $d_h = 10 \text{ mm}$

Distancia desde el extremo  $L_h = 15 \text{ mm}$

Para un eje con carga axial o flexión, el factor  $K_t$  se calcula con la siguiente fórmula:

$$K_t = 1 + 2 \left( \frac{d_h}{d} \right) = 1 + 2 \left( \frac{10}{32} \right) = 1.625 \quad (2.9)$$

#### **Cambio de sección del eje (32 mm a 50 mm).**

Diámetro menor  $d_1 = 32 \text{ mm}$

Diámetro mayor  $d_2 = 50 \text{ mm}$

$$K_t = 1.6 + 1.4 \left( \frac{d_2}{d_1} \right) \quad (2.10)$$

$$K_t = 1.6 + 1.4 \left( \frac{32}{50} \right) = 2.496$$

Dado que la carga de 1200 kg se distribuye en dos posiciones del eje, se obtiene que:

$$W = \frac{1200 \text{ kg}}{2} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5886 \text{ N}$$

Para ambos casos, se determinó el esfuerzo normal en el eje sin el concentrador de esfuerzos:

$$\sigma = \frac{W}{A} \quad (2.11)$$

Donde:

A: Área de la sección transversal del eje

$$\sigma_{normal} = \frac{W}{\pi \left( \frac{d}{2} \right)^2} = \frac{5886}{\pi (16)^2} = 7.32 \text{ MPa} \quad (2.12)$$

Los esfuerzos amplificados en las zonas de concentradores de esfuerzo en cada caso son:

$$\sigma_{amp} = K_t * \sigma_{normal} \quad (2.13)$$

$$\sigma_{amp, agujero} = K_t * \sigma_{normal} = 1.625 * 7.32 = 11.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{amp, cambio de sección} = K_t * \sigma_{normal} = 2.496 * 7.32 = 18.3 \text{ MPa}$$

Comparando los valores de los esfuerzos amplificados con el límite elástico y la resistencia a la tracción del “Acero AISI 4340” que es de 800 y 1000 MPa respectivamente, se puede decir que ambos valores están muy por debajo del límite, lo que significa que el material no sufrirá deformación plástica y tampoco hay riesgos inmediatos de rotura en esas zonas.

Ahora, para el caso del eje de la Figura 2.7, de igual manera se tienen dos casos de estudio:

**Agujero pasante de 5 mm de diámetro.**

$$K_t = 1 + 2 \left( \frac{d_h}{d} \right) = 1 + 2 \left( \frac{5}{32} \right) = 1.313$$

**Cambio de sección del eje (32 mm a 50 mm).**

$$K_t = 1.6 + 1.4 \left( \frac{32}{50} \right) = 2.496$$

El esfuerzo normal se mantiene igual, pero los esfuerzos amplificados en las zonas de concentradores de esfuerzo en este caso son:

$$\sigma_{amp, agujero} = K_t * \sigma_{normal} = 1.313 * 7.32 = 9.61 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{amp, cambio de sección} = K_t * \sigma_{normal} = 2.496 * 7.32 = 18.3 \text{ MPa}$$

Se llega a la misma conclusión de que el eje no sufrirá deformación plástica y tampoco tendrá riesgos inmediatos de rotura debido a estos concentradores de esfuerzos.

Por último, para el caso del eje de la Figura 2.8, solo se tiene un caso de estudio:

**Cambio de sección del eje (36 mm a 50 mm).**

$$K_t = 1.6 + 1.4 \left( \frac{36}{50} \right) = 2.608$$

El esfuerzo normal ahora es:

$$\sigma_{normal} = \frac{W}{\pi \left( \frac{d}{2} \right)^2} = \frac{5886}{\pi (18)^2} = 5.78 \text{ MPa}$$

El esfuerzo amplificado en esta zona de concentrador de esfuerzo es:

$$\sigma_{amp, cambio de sección} = K_t * \sigma_{normal} = 2.608 * 5.78 = 15.07 \text{ MPa}$$

La conclusión se repite también para este caso.

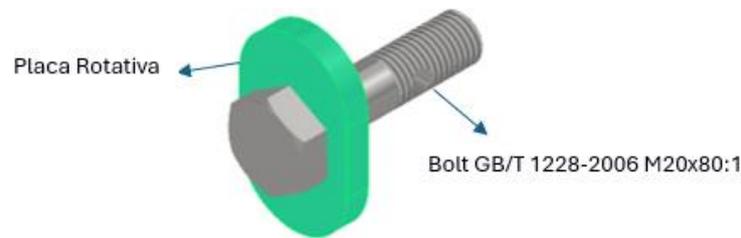
#### **2.4.4 Diseño de acople**

Para garantizar que la camisa se desplace de manera sincronizada con el contenedor durante el proceso de elevación, se desarrolló un acople especializado diseñado para brindar un soporte seguro y confiable. Este componente ha sido fabricado a medida, adaptándose de forma precisa a

las entradas esquineras normalizadas del contenedor, lo que asegura una integración robusta y eficiente. La Figura 2.10 muestra el cuerpo principal del acople, compuesto por un perno soldado a una placa diseñada específicamente para encajar en las esquinas del contenedor.

**Figura 2.10**

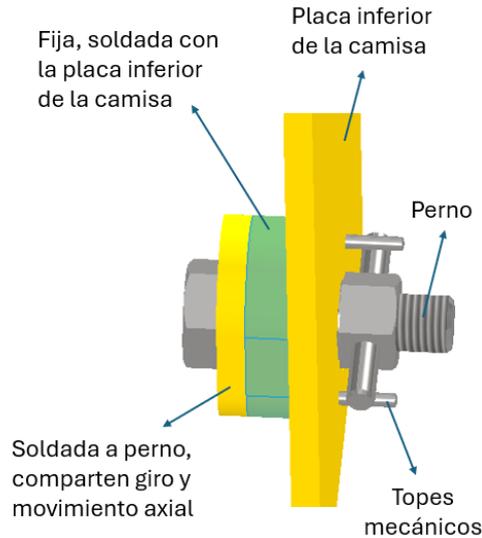
*Sistema de Acople entre camisa y contenedor*



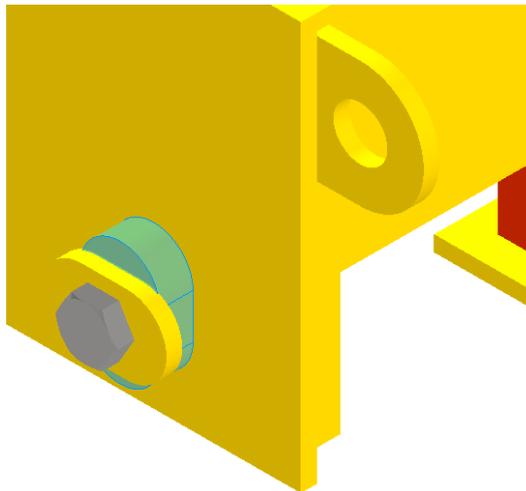
El acople atraviesa la placa inferior de la camisa y, para restringir movimientos en el eje axial, se ajusta mediante una tuerca hasta que haga contacto con la placa. Posteriormente, un pasador que une la tuerca con el perno los fija como un único cuerpo. Este diseño permite un rango de giro controlado de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , limitado mecánicamente por topes estratégicamente ubicados. El propósito de este giro es bloquear el acople de manera efectiva, evitando cualquier juego en cualquier dirección y asegurando una conexión firme con el contenedor. En la Figura 2.11, se observa el sistema de acople una vez que la tuerca se haya apretado hasta toparse con la placa, la cual esta soldada con otra placa con la misma forma de la entrada esquinera del contenedor la misma que tapa completamente el hueco de la entrada, lo que permite que el perno pueda girar hasta  $90^\circ$  una vez insertado, así como se observa en la Figura 2.12.

**Figura 2.11**

*Sistema de acople apretado con la placa*

**Figura 2.12**

*Bloqueo del acople mediante giro de 90°*



Para validar el área de los cordones de soldadura de la estructura en general y sobre todo de la placa fija soldada a la camisa, la cual soporta el peso del contenedor, se necesitó calcular las fuerzas y momentos que someten a la estructura en el proceso de elevación. Para ello, se realizó el traslado del peso del contenedor hacia la placa fija dónde el contenedor es soportado.

Debido a la condición de que el contenedor se eleva en vacío, se aproximó que el centro de gravedad del contenedor está aproximadamente en el centro del contenedor. Es decir, si el eje

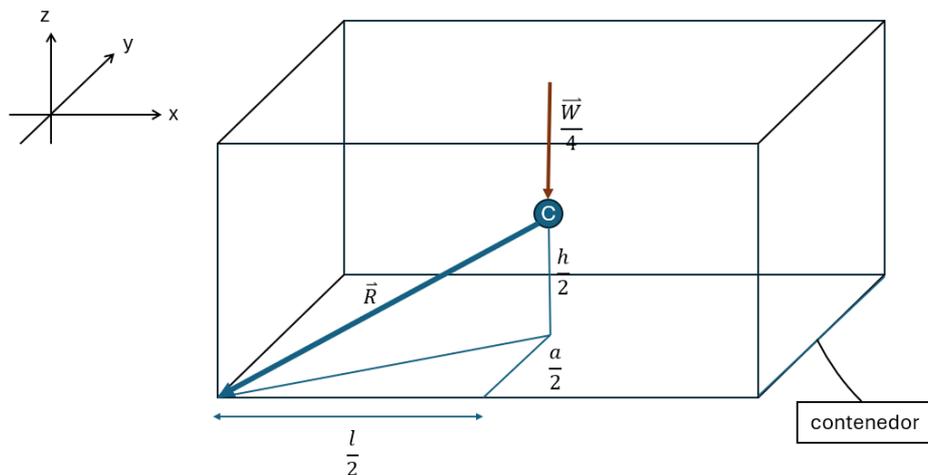
x está en la dirección de la longitud del contenedor (l), el eje y en la dirección del ancho del contenedor (a) y el eje z en la dirección de altura (h), se tiene que:

$$C\left(\frac{l}{2}, \frac{a}{2}, \frac{h}{2}\right)$$

Donde C es la coordenada del centro de gravedad del contenedor, con esto se ilustra en la Figura 2.13 el radio que se usó para el cálculo del momento generado al transportar la cuarta del peso (W) a la esquina inferior izquierda dónde uno de los acoples se conecta.

**Figura 2.13**

*Vectores involucrados en el traslado de la cuarta parte del peso hacia la esquina inferior izquierda*



Es así, como se realizó el cálculo del momento generado en el acople de la esquina inferior izquierda por la cuarta parte del peso de un contenedor de 40 pies de longitud:

$$\overrightarrow{M_{\frac{W}{4}(II)}} = \vec{R} \times \frac{\vec{W}}{4} = \left(-\frac{l}{2}, -\frac{a}{2}, -\frac{h}{2}\right) \times \left(0, 0, -\frac{W}{4}\right) \quad (2.14)$$

$$\overrightarrow{M_{\frac{W}{4}(II)}} = \left(\frac{(a)(W)}{8}\right) \hat{i} + \left(-\frac{(l)(W)}{8}\right) \hat{j} + (0) \hat{k}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{M_{\frac{W}{4}(II)}} &= \left(\frac{(2.438)(4000)(9.8)}{8}\right) \hat{i} + \left(-\frac{(12.094)(4000)(9.8)}{8}\right) \hat{j} \\ &= 11946.2 \hat{i} - 59260.6 \hat{j} \text{ [N.m]} \end{aligned}$$

Realizando el mismo procedimiento para el traslado del resto del peso del contenedor, se tiene el resto de los momentos generados:

$$\begin{aligned}\overrightarrow{M_{\frac{W}{4}(ID)}} &= \left( \frac{(2.438)(4000)(9.8)}{8} \right) \hat{i} + \left( + \frac{(12.094)(4000)(9.8)}{8} \right) \hat{j} \\ &= 11946.2\hat{i} + 59260.6\hat{j} \text{ [N.m]}\end{aligned}$$

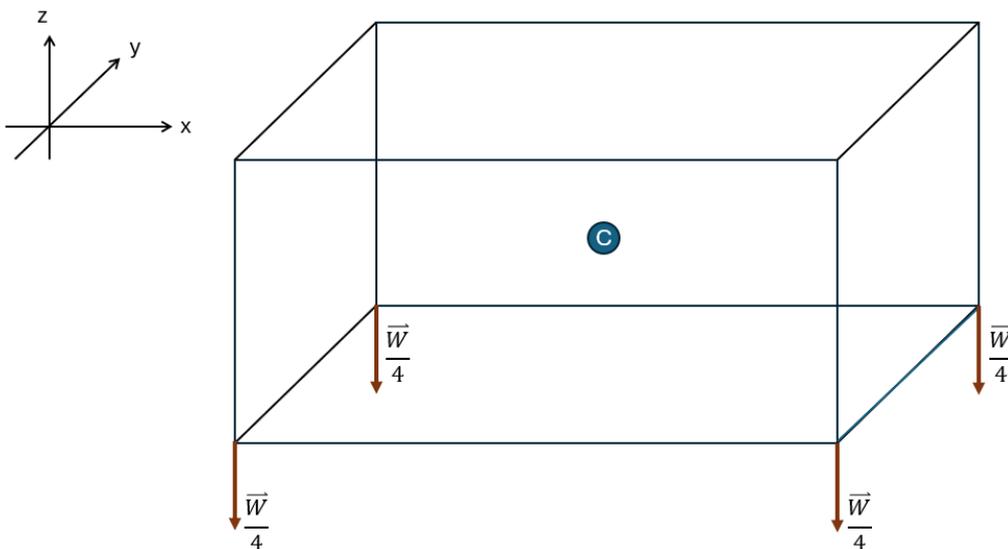
$$\begin{aligned}\overrightarrow{M_{\frac{W}{4}(SI)}} &= \left( - \frac{(2.438)(4000)(9.8)}{8} \right) \hat{i} + \left( - \frac{(12.094)(4000)(9.8)}{8} \right) \hat{j} \\ &= -11946.2\hat{i} - 59260.6\hat{j} \text{ [N.m]}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\overrightarrow{M_{\frac{W}{4}(SD)}} &= \left( - \frac{(2.438)(4000)(9.8)}{8} \right) \hat{i} + \left( + \frac{(12.094)(4000)(9.8)}{8} \right) \hat{j} \\ &= -11946.2\hat{i} + 59260.6\hat{j} \text{ [N.m]}\end{aligned}$$

Se observa cómo al trasladar el peso en cuatro partes iguales para las esquinas dónde están los acoples insertados, los momentos generados se contrarrestan entre sí. Por lo que, la carga que somete a cada soporte hidráulico es la cuarta parte del peso del contenedor tal cual cómo se indica en la Figura 2.14.

**Figura 2.14**

*Distribución del peso del contenedor en los soportes hidráulicos*



### 2.4.5 Diseño de cordones de soldadura

En sistemas de elevación hidráulica es necesario que el material de la estructura cumpla con condiciones como: alta resistencia mecánica, buena soldabilidad, resistencia al desgaste y a impactos y, además, que sea un material disponible a un costo razonable para el sistema.

Por las razones antes mencionadas, se escogió al acero estructural ASTM A572 de Grado 50, material de uso común para estructuras sometidas a esfuerzos moderados a altos por ofrecer alta resistencia y rigidez en las estructuras.

**Tabla 2.7**

*Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A 572/A572M [40]*

<b>Grado</b>	Límite elástico	Resistencia a la tracción	Alargamiento (% en 200 mm)	Alargamiento (% en 50 mm)
50	345 MPa 50 ksi	450 MPa 65 ksi	18	21

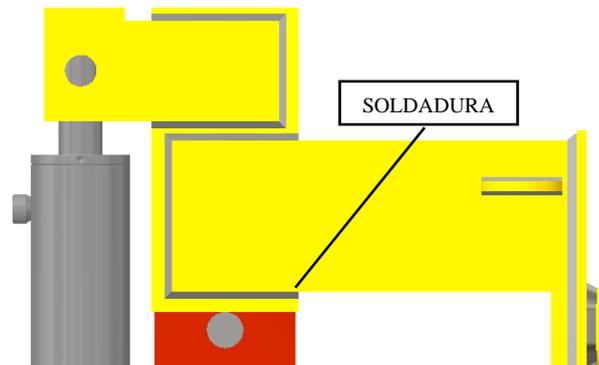
Además, un parámetro para tener en cuenta en soldadura es el factor de seguridad, ISO 3834 especifica valores de calidad en la soldadura y establece un factor de seguridad entre 3 y 4 para cargas críticas [41]. Dentro del asistente se optó por realizar los cálculos con un factor de seguridad de 4 para los casos considerados más críticos. Además, con la finalidad de añadir mayor resistencia a la estructura se optó por designar soldaduras rectangulares a áreas de posibles riesgos de fractura.

Por otra parte, en el diseño de soldaduras es indispensable calcular los esfuerzos y cargas máximas que un cuerpo soldado puede soportar, por medio del asistente de cálculo de soldaduras de Inventor se obtuvieron los valores de esfuerzos requeridos, necesarios para el análisis de la estructura y su posterior validación.

En la Figura 2.15 se presenta la primera sección de soldadura ubicada en el apoyo inferior del diseño, considerada como un área crítica debido a la carga directa que sufre en el levantamiento del contenedor, la Figura 2.16 muestra los cálculos obtenidos del Asistente.

**Figura 2.15**

*Soldadura del apoyo inferior para el contenedor*



**Figura 2.16**

*Cálculo del perfil de soldadura (apoyo inferior)*

Asistente de cálculo de soldaduras de empalme (carga en plano de conexión)

**f<sub>g</sub> Cálculo** **M Cálculo de fatiga**

**Cargas**

Fuerza de plegado  $F_y$  11772 N

Brazo de fuerza  $e$  431.000 mm

**Cotas**

Altura de soldadura  $a$  6.247 mm

Altura de grupo de soldadura  $H$  150.000 mm

Anchura de grupo de soldadura  $B$  126.000 mm

**Material y propiedades de la junta**

Electrodo E70XX

Límite de elasticidad  $S_y$  390 MPa

Resistencia máxima a tracción  $S_u$  480 MPa

Coefficiente de seguridad  $n_s$  4 su

Tensión admitida  $S_a$  97.500 MPa

**Forma de soldadura**

Procedimiento de cálculo estándar

Método de tensiones comparativ

Solo se tiene en cuenta la longitud

**Cargas de soldadura**

**Resultados**

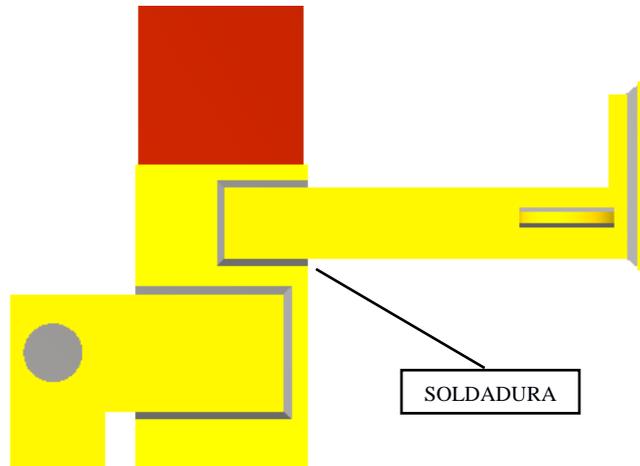
$t_A$	97.500 MPa
$a_{min}$	1.400 mm
$t$	21.738 MPa
$F_{ymax}$	52800.500 N

Posteriormente, en la Figura 2.17 se presenta otra sección de soldadura correspondiente al apoyo superior, el cuál es indispensable debido a su papel de apoyo en caso de la presencia de

inclinaciones del contenedor en el proceso de levantamiento, la Figura 2.18 muestra los cálculos obtenidos para este perfil de soldadura.

**Figura 2.17**

*Soldadura del apoyo superior para el contenedor*



**Figura 2.18**

*Cálculo del perfil de soldadura (apoyo superior)*

Asistente de cálculo de soldaduras de empalme (carga en plano de conexión)

Cálculo  Cálculo de fatiga

**Cargas**

Fuerza axial  $F_x$  11772 N

**Cotas**

Altura de soldadura  $a$  6.247 mm

Altura de grupo de soldadura  $H$  60.000 mm

Anchura de grupo de soldadura  $B$  70.000 mm

**Material y propiedades de la junta**

Electrodo E70XX

Límite de elasticidad  $S_y$  390 MPa

Resistencia máxima a tracción  $S_u$  480 MPa

Coefficiente de seguridad  $n_s$  4 su

Tensión admitida  $S_a$  97.500 MPa

**Forma de soldadura**

Procedimiento de cálculo estándar  
 Método de tensiones comparativas  
 Solo se tiene en cuenta la longitud

**Cargas de soldadura**

Carga axial  
 Carga de flexión  
 Carga de torsión  
 Carga de corte

**Resultados**

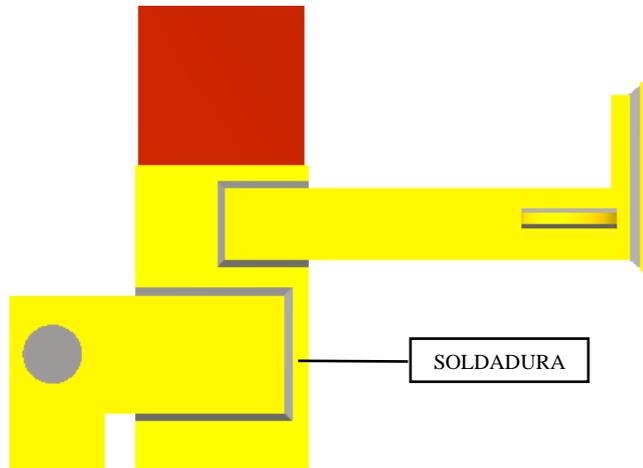
$t_A$	97.500 MPa
$a_{min}$	0.480 mm
$t$	7.248 MPa
$F_{xmax}$	158361.300 N

Luego, en la Figura 2.19 se presenta la sección de soldadura que corresponde a la pieza de soporte para los ejes que estarán en contacto con el cáncamo del vástago del cilindro. Se considera

este caso debido a las cargas que produce el empuje del vástago a los ejes y a su vez a la estructura, la Figura 2.20 muestra los cálculos obtenidos para esta sección.

**Figura 2.19**

*Soldadura del apoyo para el actuador*



**Figura 2.20**

*Cálculo del perfil de soldadura (apoyo para el actuador)*

Asistente de cálculo de soldaduras de empalme (carga en plano de conexión)

**Cálculo** **Cálculo de fatiga**

**Cargas**

Fuerza de plegado  $F_y$  11772 N

Brazo de fuerza  $e$  195.500 mm

**Cotas**

Altura de soldadura  $a$  6.247 mm

Altura de grupo de soldadura  $H$  100.000 mm

Anchura de grupo de soldadura  $B$  126.000 mm

**Material y propiedades de la junta**

Electrodo E70XX

Límite de elasticidad  $S_y$  390 MPa

Resistencia máxima a tracción  $S_u$  480 MPa

Coefficiente de seguridad  $n_s$  4 su

Tensión admitida  $S_{al}$  97.500 MPa

**Forma de soldadura**

**Cálculo de soldadura cargada estát**

Procedimiento de cálculo estándar

Método de tensiones comparativ

Solo se tiene en cuenta la longit

**Cargas de soldadura**

**Resultados**

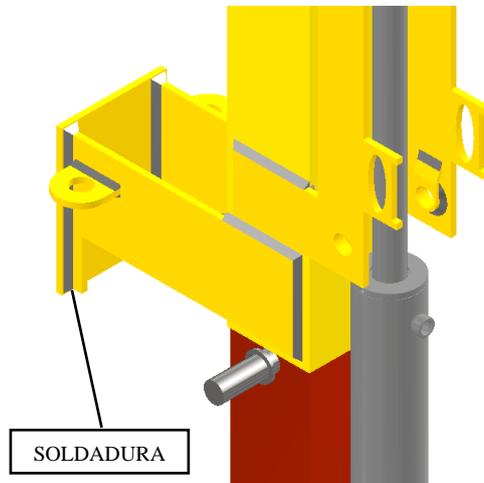
$t_A$	97.500 MPa
$a_{min}$	0.910 mm
$t$	13.947 MPa
$F_{y_{max}}$	82294.800 N

Si siguiendo el cálculo de soldaduras para el soporte hidráulico, en la Figura 2.21 se presenta la última sección considerada crítica. La sección corresponde a la soldadura de la placa del apoyo

inferior, que al igual que el primer caso este sufre altas cargas debido a que esta pieza es el apoyo principal en el levantamiento del contenedor, la Figura 2.22 muestra los cálculos obtenidos.

**Figura 2.21**

*Soldadura de la placa del apoyo inferior*



**Figura 2.22**

*Cálculo del perfil de soldadura (placa del apoyo inferior)*

Asistente de cálculo de soldaduras de empalme (carga en plano de conexión)

Cálculo  Cálculo de fatiga

**Cargas**  
 Fuerza de plegado  $F_y$  11772 N  
 Brazo de fuerza  $e$  31.000 mm

**Cotas**  
 Altura de soldadura  $a$  6.247 mm  
 Altura de grupo de soldadura  $H$  239.000 mm  
 Anchura de grupo de soldadura  $B$  10.000 mm

**Material y propiedades de la junta**  
 Electrodo E70XX  
 Límite de elasticidad  $S_y$  390 MPa  
 Resistencia máxima a tracción  $S_u$  480 MPa  
 Coeficiente de seguridad  $n_s$  4 su  
 Tensión admitida  $S_{al}$  97.500 MPa

**Forma de soldadura**

**Cálculo de soldadura cargada estáticamente**  
 Procedimiento de cálculo estándar  
 Método de tensiones comparativas  
 Solo se tiene en cuenta la longitud de soldadura activa

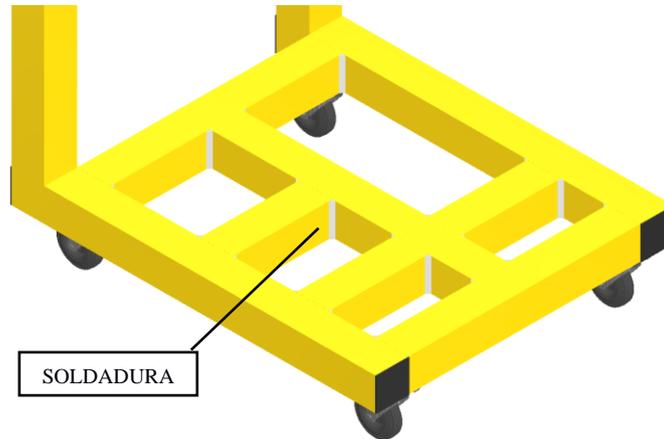
**Cargas de soldadura**

**Resultados**  
 $t_A$  97.500 MPa  
 $\sigma_{min}$  0.300 mm  
 $t$  4.497 MPa  
 $F_{ymax}$  255211.600 N

Finalmente, se realizó el cálculo de soldaduras para la unión entre los tubos cuadrados que conforman a la base móvil, en la Figura 2.23 se señala la sección que corresponde a la soldadura entre dos tubos cuadrados y en donde se sitúa la carga más alta en la estructura debido al peso de la unidad de potencia. En la Figura 2.24 se muestra el cálculo obtenido.

**Figura 2.23**

*Soldadura de los tubos cuadrados de la base móvil*

**Figura 2.24**

*Cálculo del perfil de soldadura (tubos de la base móvil)*

Asistente de cálculo de soldaduras de empalme (carga en plano de conexión)

**Cargas**  
Fuerza axial  $F_x$  735.75 N

**Cotas**  
Altura de soldadura  $a$  7.071 mm  
Altura de grupo de soldadura  $H$  100.000 mm  
Anchura de grupo de soldadura  $B$  100.000 mm

**Material y propiedades de la junta**  
 Electrodo E70XX  
 Límite de elasticidad  $S_y$  390 MPa  
 Resistencia máxima a tracción  $S_u$  480 MPa  
 Coeficiente de seguridad  $n_s$  4 su  
 Tensión admitida  $S_{ad}$  97.500 MPa

**Forma de soldadura**  
 Procedimiento de cálculo estándar  
 Método de tensiones comparativas  
 Solo se tiene en cuenta la longitud de soldadura activa

**Cargas de soldadura**

**Resultados**  
 $t_A$  97.500 MPa  
 $\rho_{min}$  0.100 mm  
 $t$  0.520 MPa  
 $F_{xmax}$  137884.500 N

Se observa en esta sección que, por medio del recuadro de resultados del Asistente, se verificó que las secciones de soldadura establecidas no solo cumplen con las condiciones de carga del sistema, sino que superan los requisitos mínimos de operación.

#### 2.4.6 Análisis Estructural

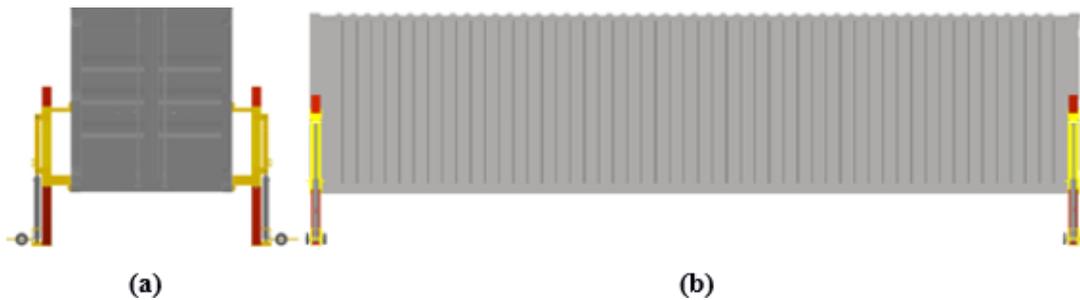
El análisis estructural en el diseño mecánico del sistema consideró tres escenarios claves que representan diferentes condiciones de carga.

### Escenario 1

El primer escenario corresponde a una posición media del sistema de elevación, donde las fuerzas se distribuyen principalmente en el acople que soporta al contenedor y en el eje donde se apoya el cáncamo superior del vástago (Ver Figura 2.25 y Figura 2.26).

**Figura 2.25**

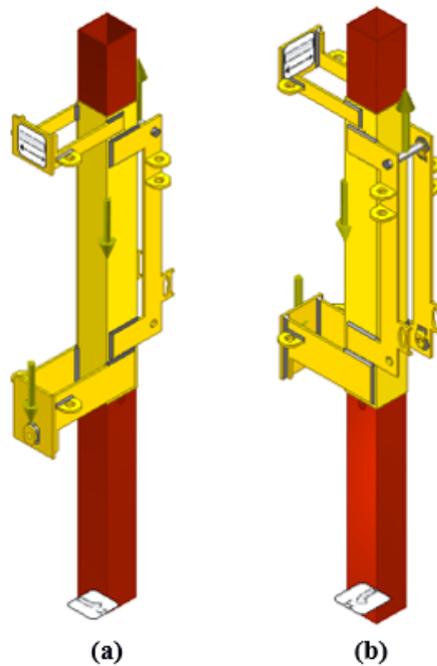
*Posición media de elevación (Escenario 1)*



*Nota.* (a) vista posterior, (b) vista lateral

**Figura 2.26**

*Restricciones y ubicación de fuerzas (Escenario 1)*



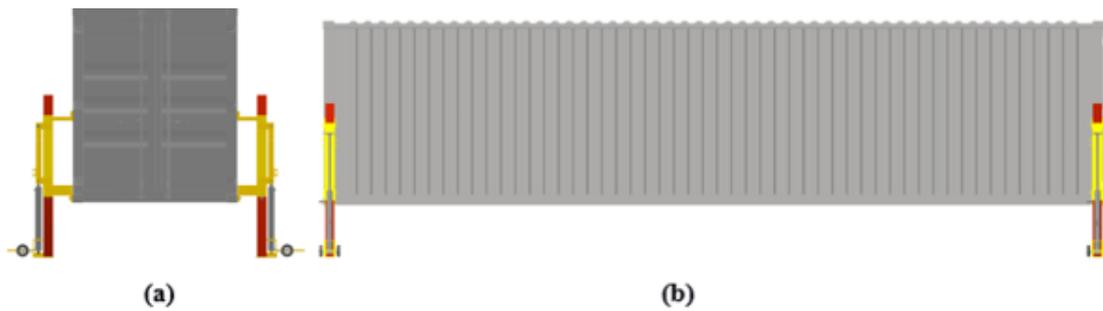
*Nota.* (a) vista isométrica delantera, (b) vista isométrica trasera

## Escenario 2

El segundo escenario corresponde a una posición donde el contenedor descansa sobre el eje ubicado en el soporte (Figura 2.27). En esta configuración, las fuerzas se distribuyen entre las coincidencias de unión entre el eje y el soporte, y además la fuerza que aplica el contenedor sobre el acople (Figura 2.28).

**Figura 2.27**

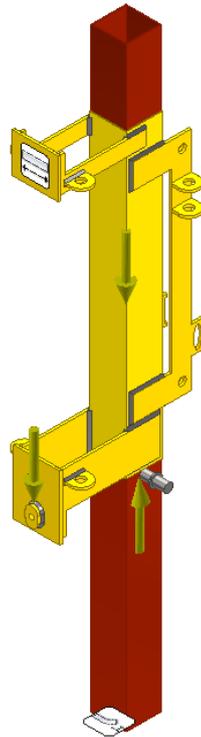
*Posicionamiento sobre el eje de soporte (Escenario 2)*



*Nota.* (a) vista posterior, (b) vista lateral

**Figura 2.28**

*Restricciones y ubicación de fuerzas (Escenario 2)*



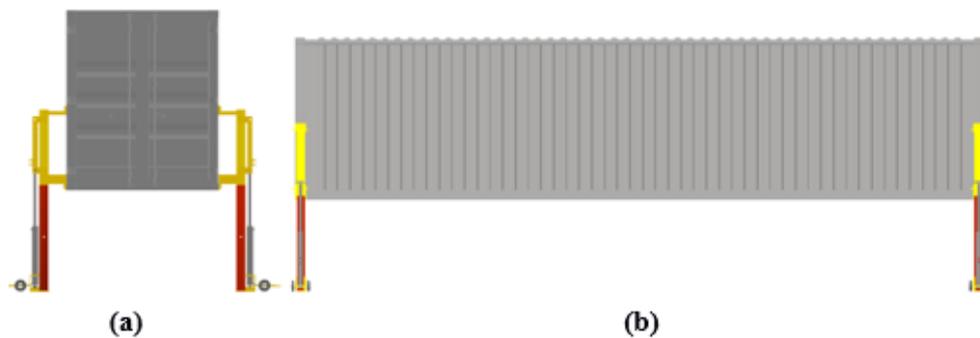
*Nota.* (a) vista isométrica

### Escenario 3

El tercer escenario corresponde a una posición alta del sistema de elevación, donde las fuerzas se ubican de igual manera que en el primer escenario; en el acople que soporta al contenedor y en el eje donde se apoya el cáncamo superior del vástago (Figura 2.29). El cambio que se refleja en este escenario es la altura en la que se encuentra la camisa del sistema de elevación, haciéndolo más propenso a sufrir deformaciones.

**Figura 2.29**

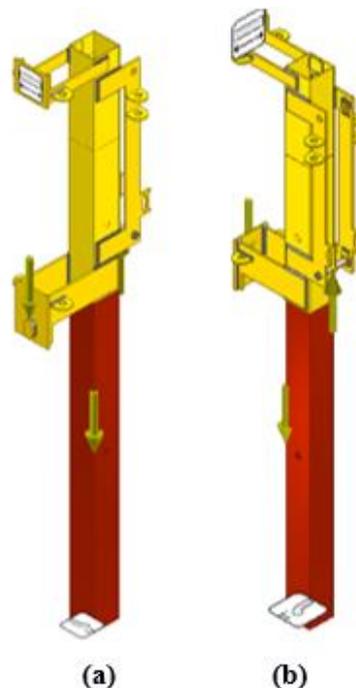
*Posición alta de elevación (Escenario 3)*



*Nota.* (a) vista posterior, (b) vista lateral

**Figura 2.30**

*Restricciones y ubicación de fuerzas (Escenario 3)*

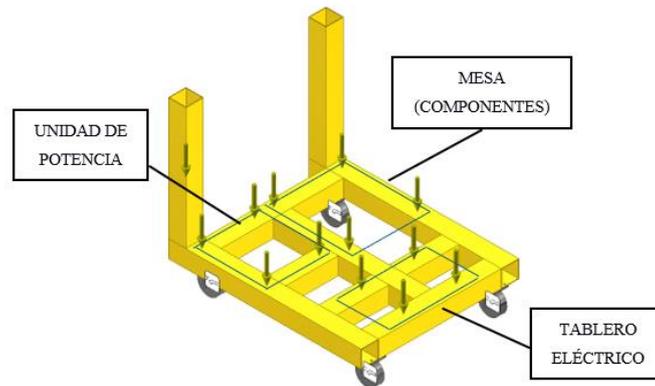


*Nota.* (a) vista isométrica delantera, (b) vista isométrica trasera

La segunda parte del análisis estructural corresponde a la simulación de la base móvil, para este caso se distribuyeron cargas puntuales en el diseño simulando el peso que ejercerán los componentes hidráulicos y de control que serán colocados encima del mismo. En la Figura 2.31 se observa la distribución de cargas y el diseño de forma de la base móvil.

**Figura 2.31**

*Restricciones y ubicación de fuerzas (Base móvil)*



#### 2.4.7 Características del mallado

Dentro del análisis estructural en Inventor es indispensable establecer las características del mallado para la simulación del diseño, en la Tabla 2.8 se muestran los parámetros dados a la malla, en donde se especifican aspectos como la geometría del diseño y demás características que son parte de la simulación.

**Tabla 2.8**

*Característica de la malla de simulación*

Características	Valor
Tipo de mallado	Sólido
Forma del elemento	Tetraedro
Tamaño medio de elemento	5 mm
Orden de elemento	Lineal
Mallado basado en curvatura	No
Ángulo de giro máximo en curvas	60°
Tamaño mínimo de elemento	1 mm

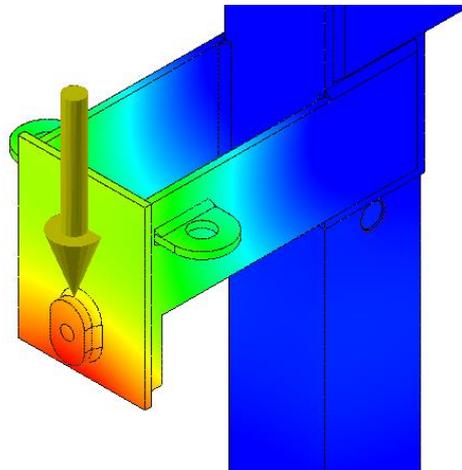
### 2.4.8 Convergencia

Con la finalidad de refinar la malla y obtener resultados precisos cercanos a la realidad, se realizó un análisis de convergencia de los resultados obtenidos para distintos tamaños de elementos.

En primer lugar, se especifica en el diseño una zona de estudio que permita obtener datos regulares del comportamiento estructural. En la Figura 2.32 se muestra la sección con mayor desplazamiento del diseño, por lo que, los datos para los distintos tamaños de elementos serán tomados en dicha zona.

**Figura 2.32**

*Zona de convergencia (Desplazamiento)*



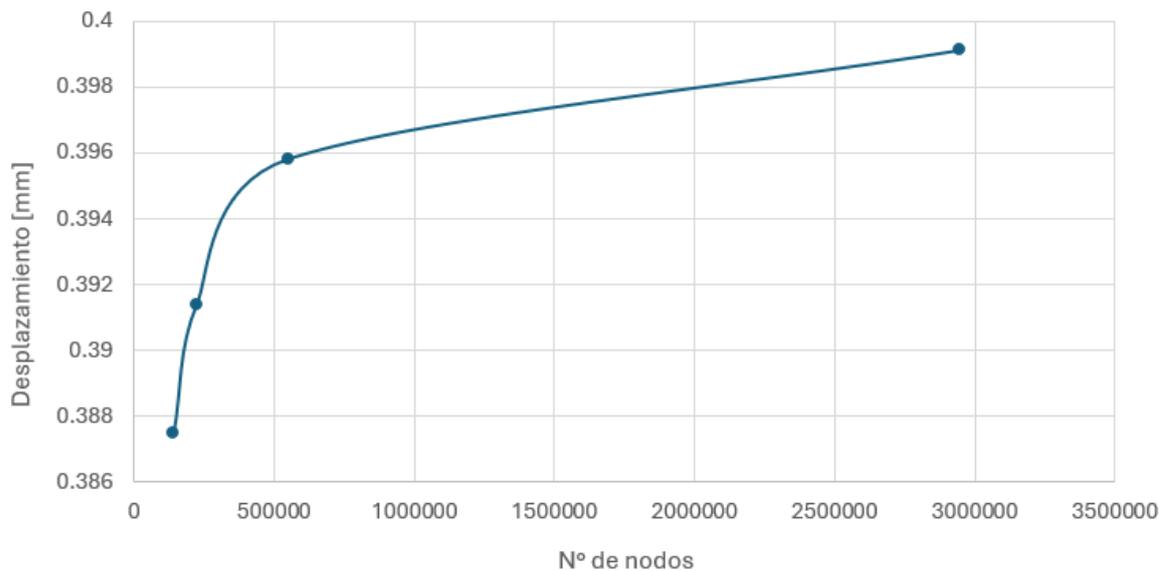
Además, se establece que para tener convergencia se debe tener una variación en los resultados entre refinamientos sucesivos inferior al 5% [42]. Por último, el análisis de convergencia se lo realiza ya sea para los resultados de esfuerzos de Von Mises o los desplazamientos. Dados los resultados obtenidos, se optó por escoger al desplazamiento como parámetro de convergencia, ya que, sus resultados no presentan variaciones irregulares en la sucesión como es el caso de los resultados de los esfuerzos de Von Mises. En la Tabla 2.9 se muestran los valores dados por la simulación y el porcentaje de convergencia del parámetro Desplazamiento.

**Tabla 2.9***Resultados del análisis de convergencia*

Tamaño de elementos	241 mm	180.75 mm	120.5 mm	60.25 mm
No de Nodos	143385	225370	551008	2944661
Elementos	69994	116449	377944	1830516
Desplazamiento [mm]	0.3875	0.3914	0.3958	0.3991
Tiempo (s)	19.6	24.8	43.5	315
% Convergencia		0.99 %	1.11%	0.83%

Ya que, el porcentaje de convergencia es menor al 5%, se opta por escoger el tamaño de elementos que nos proporcione una menor cantidad de elementos y número de nodos, conociendo que su selección presentará datos igual de aceptables que las demás alternativas, lo que conlleva a un ahorro en el consumo de recursos computacionales.

La convergencia del desplazamiento es presentada en la Figura 2.33.

**Figura 2.33***Convergencia del desplazamiento*

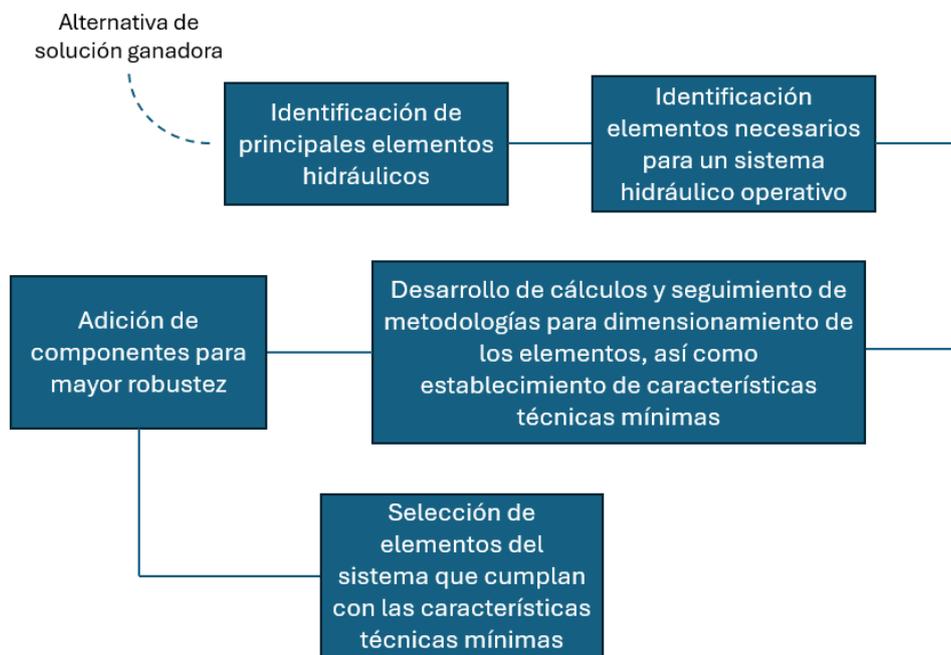
#### 2.4.9 Diseño Hidráulico

Para el diseño hidráulico, se inició definiendo una serie de procedimientos que permitieron dimensionar todos los componentes relacionados con el sistema hidráulico del proyecto. Este

proceso se basó en cálculos detallados y metodologías de diseño establecidas. Como resultado, se determinó los elementos necesarios junto con sus características técnicas para garantizar que cumplan con los requisitos del diseño.

**Figura 2.34**

*Metodología del diseño hidráulico*



### Principales elementos hidráulicos

La alternativa de solución escogida en los principios de este capítulo otorgó información sobre los elementos principales que permiten la elevación sincronizada de cilindros hidráulicos. Con esto, se identificó el corazón del sistema hidráulico del diseño.

**Tabla 2.10**

*Elementos principales del sistema hidráulico*

<b>Elemento hidráulico (cantidad)</b>	<b>Función</b>
Cilindro hidráulico de doble efecto (4)	Actuador que sostiene, eleva y descende el contenedor.

Válvula divisora de flujo de 4 secciones de tipo engranaje (2)	Válvula que divide un flujo en 4 partes iguales. Los 4 flujos se mantienen iguales a pesar de que los actuadores estén sometidos a diferentes cargas, lo cual permite la sincronización.
Válvulas de Alivio de Puerto Cruzado (8)	Válvula que, de acuerdo con una configuración establecida, ayuda a la válvula divisora de flujo en la sincronización de los cilindros.

### **Elementos necesarios para un sistema hidráulico operativo**

En el diseño de cualquier sistema hidráulico es necesario establecer los componentes hidráulicos que permiten la operación óptima del sistema. De acuerdo, con la investigación hecha en el primer capítulo de este proyecto se identificaron estos componentes hidráulicos esenciales.

**Tabla 2.11**

*Elementos necesarios del sistema hidráulico*

<b>Elemento hidráulico</b>	<b>Función</b>
Fluido hidráulico	Es el transmisor de energía desde la bomba hacia los actuadores.
Sistema Motor-Bomba hidráulica	Transforma la energía eléctrica en energía hidráulica, succionando el fluido en el reservorio para generar un flujo en el sistema hidráulico.
Reservorio	Almacena el fluido hidráulico que recorrerá todo el sistema hidráulico. Además, ayuda con su enfriamiento.
Filtros	Elimina las impurezas del fluido hidráulico conservando la vida útil de los componentes y mejorando el rendimiento del sistema.
Manómetro analógico	Indica la presión de la línea al que está conectado mediante un indicador de aguja en una escala graduada. En este proyecto, se usó para indicar la presión del sistema.
Válvula de alivio de presión	Limita la presión del sistema otorgada por el sistema motor-bomba.

Válvula direccional 4/3 con accionamiento por solenoide con centro tándem	Permite el control de la dirección de flujo hacia los actuadores, decidiendo si avanzan, descienden o mantienen su posición.
Manguera	Elemento que conduce el fluido hidráulico hacia los diferentes componentes del sistema.

## Cálculos para dimensionamiento

### *Cilindros*

La carga vertical que somete a cada cilindro es igual a la porción correspondiente del peso del contenedor. Debido a la simetría de la distribución del peso del contenedor en vacío, se puede aproximar que cada cilindro sostiene una cuarta parte de este peso. La situación de mayor peso es en el levantamiento de un contenedor de 40 pies de longitud, cuyo peso es de 4 ton. Por lo tanto, la presión mínima necesaria en el cilindro para el levantamiento es:

$$F_c = \frac{\pi P D^2}{4} \quad (2.15)$$

Dónde:

$$F_c: \text{Fuerza de compresión (avance del cilindro)} = \frac{(4000 \text{ kg})(9.8 \frac{m}{s^2})}{4} = 9800 \text{ N}$$

P: Presión que ejerce el sistema al cilindro

D: Diámetro del pistón

Despejando:

$$P = \frac{4F_c}{\pi D^2} = \frac{(4)(9800)}{\pi D^2}$$

Considerando, un rango de diámetro comerciales entre 80-100 mm y una fuerza de compresión 10% más que la cuarta parte del peso del contenedor, se estima las presiones dependiendo del diámetro escogido en la selección del cilindro.

**Tabla 2.12***Presiones requeridas para levantamiento del contenedor*

<b>Diámetro (D)</b>	<b>Presión requerida (P)</b>	<b>Presión requerida (P)</b>
<b>[mm]</b>	<b>[Pa]</b>	<b>[psi]</b>
<b>80 mm</b>	$P = \frac{(4)(9800)(1.1)}{(\pi)(0.08)^2} = 2144612.86$	P = 311.05
<b>90 mm</b>	$P = \frac{(4)(9800)(1.1)}{(\pi)(0.09)^2} = 1694508.92$	P = 245.76
<b>100 mm</b>	$P = \frac{(4)(9800)(1.1)}{(\pi)(0.1)^2} = 1372552.23$	P = 199.07

*Nota.* 1 psi = 6894.75 Pa

Conociendo la presión del sistema, dependiendo de un rango de diámetros de pistones comercialmente comunes, se consideró que el cilindro tiene que soportar más de la presión máxima presentada en la Tabla 2.12. Incluso, se empleó un factor de seguridad de 4 debido a que la presión del sistema debe ser mayor que la presión mínima requerida.

En el dimensionamiento de un cilindro, también se consideró la fuerza máxima para que el vástago esté libre de pandeo, a fin de que la carga no lo dañe. Uno de los métodos más conocido es mediante el uso de la fórmula de Euler [43].

$$F_{Euler} = \frac{\pi^2 E_V I_V}{\eta L_e^2} \quad (2.16)$$

Donde:

$F_{Euler}$ : Carga de pandeo de Euler del cilindro hidráulico

$E_V$ : Módulo de elasticidad del material del vástago

$I_V$ : Momento de inercia de la sección transversal del vástago, para una sección circular

$I_V = \frac{\pi d^4}{4}$  donde d es el diámetro del vástago

$\eta$ : Factor de seguridad, generalmente entre 2 y 5

$L_e$ : Longitud libre de pandeo, depende del montaje del cilindro (Tipo de sujeción) y de la longitud total (posición de carrera máxima).

Generalmente, el material base de los vástagos de cilindros comerciales es acero al carbono o hierro negro, por lo que, se consideró el módulo de elasticidad del acero al carbono. También de acuerdo con las solicitaciones de Euler [43], el caso que se trató en el diseño en el tipo de sujeción fue el caso 2, dos extremos articulados. Por lo que:

$$L_e = l \text{ (extremos del cilindro articulados)} = 850 \text{ mm (longitud estimada de carrera máxima para conseguir altura requerida de 1.7 m)}$$

$$E_V = 206.8 \text{ GPa (material acero al carbono)}$$

y, tomando en consideración un rango de 40-50 mm, comercialmente común para el diámetro del vástago:

**Tabla 2.13**

*Fuerza máxima de pandeo del cilindro hidráulico*

<b>Diámetro</b>	<b><math>F_{Euler}</math></b>
<b>(d) [mm]</b>	<b>[N]</b>
<b>40 mm</b>	$F_{Euler} = \frac{(\pi^2)(206.8GPa)(\pi)(d^4)}{(5)(l)^2(4)} = \frac{(\pi^3)(206.8GPa)(0.04^4)}{(5)(0.850)^2(4)} = 1135984.15$
<b>45 mm</b>	$F_{Euler} = \frac{(\pi^2)(206.8GPa)(\pi)(d^4)}{(5)(l)^2(4)} = \frac{(\pi^3)(206.8GPa)(0.045^4)}{(5)(0.850)^2(4)} = 1819626.95$
<b>50 mm</b>	$F_{Euler} = \frac{(\pi^2)(206.8GPa)(\pi)(d^4)}{(5)(l)^2(4)} = \frac{(\pi^3)(206.8GPa)(0.05^4)}{(5)(0.850)^2(4)} = 2773398.80$

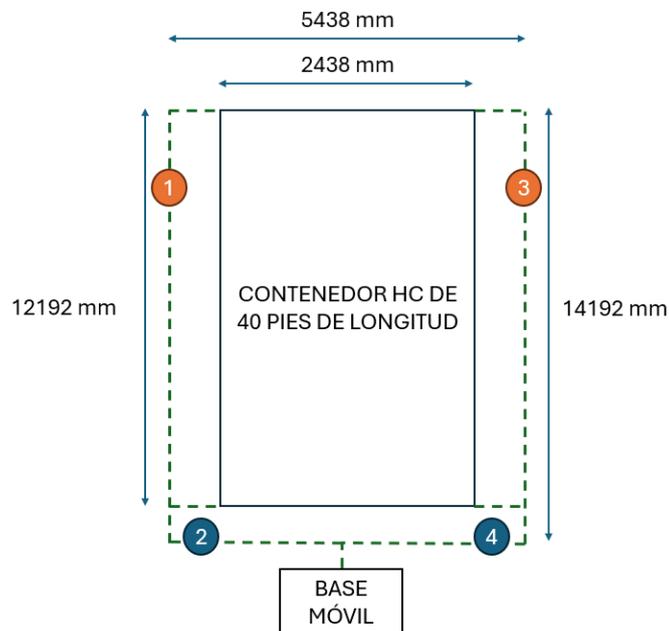
Como se observa en la Tabla 2.13, las fuerzas de pandeo están muy por arriba de la carga a la cual está sometido el cilindro. Lo cual afirmó, a pesar de las limitaciones y asunciones que considera la fórmula de Euler, que el cilindro seleccionado no sufre de pandeo.

### Mangueras

Para el dimensionamiento de la longitud de las mangueras, se necesitó un bosquejo de las distancias las cuáles tienen que recorrer desde la base móvil donde se encuentra el sistema motor-bomba, la válvula direccional, los divisores de flujo, entre otros componentes hasta los puertos de entrada y salida de los 4 cilindros hidráulicos. Considerando las medidas de un contenedor de 40 pies de longitud, caso más crítico, y una posible ubicación de la base móvil, se observa en la Figura 2.35 las longitudes del recorrido de las mangueras.

**Figura 2.35**

*Longitudes del recorrido de las mangueras en supuesto escenario*



Según las medidas presentadas, las longitudes del recorrido para las mangueras hacia los cilindros hidráulicos 1, 2, 3 y 4 son:

$$L_{1,3} = 12192 \text{ mm} + \frac{5438}{2} \text{ mm} + 1500 \text{ mm} = 16411 \text{ mm}$$

$$L_{2,4} = \frac{5438}{2} \text{ mm} + 1500 \text{ mm} = 4219 \text{ mm}$$

Sin embargo, para asegurar que el fluido hidráulico llegue al mismo tiempo en los 4 cilindros una vez iniciado el sistema, se escogió las 4 mangueras de la misma longitud. Además,

para evitar cualquier inconveniente con algún doblez en las mangueras o error en la estimación de la longitud del recorrido se consideró un factor de corrección de un 25%. Por lo que:

$$L = 16411 \text{ mm} * 1.25 = 20513.75 \text{ mm}$$

Para el correcto dimensionamiento, del diámetro de la manguera se necesitó del caudal que va a pasar a través de ella. Este caudal se estimó de acuerdo con un tiempo adecuado para realizar la elevación y el descenso del contenedor. En los equipos de elevación, mediante el sistema de gatos hidráulicos, se tiene un tiempo estimado de elevación de 2 minutos. Considerando un rango de elevación de 1.65 m, aproximadamente.

### ***Bomba Hidráulica***

En este proyecto, como la elevación se realiza en 2 etapas. Entonces, se estima un tiempo de elevación de 1 minuto por etapa. Cada etapa, se estima una elevación de 850 mm para cumplir con el rango de altura propuesto de 1.7 m. Por lo que:

$$t_e = 60 \text{ s}$$

Dónde  $t_e$  es el tiempo de elevación de una etapa. Este tiempo en conjunto con el volumen total necesario para llenar la cámara del cilindro, permitió el cálculo del caudal aproximado que debe atravesar las mangueras.

Sea:

D: diámetro aproximado del pistón de un cilindro comúnmente comercial (90 mm)

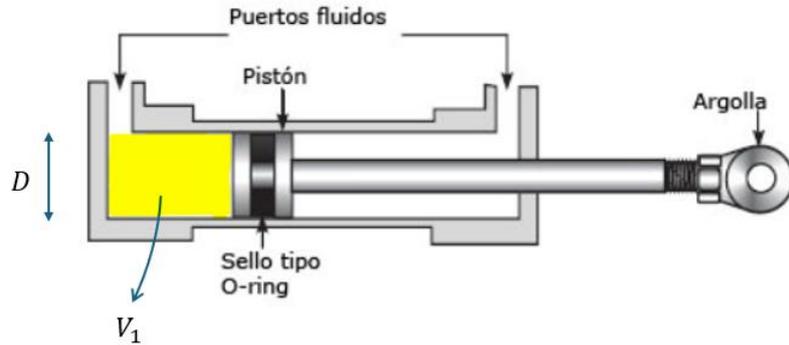
l: carrera máxima aproximada del cilindro (850 mm)

$V_1$ : volumen para llenar la cámara de entrada del cilindro

$$V_1 = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot l = \left( \frac{\pi (0.09)^2}{4} \right) \cdot (0.850) = 0.00541 \text{ m}^3 \quad (2.17)$$

**Figura 2.36**

Volumen de la cámara de entrada de un cilindro hidráulico



Normalmente, en el área industrial el caudal se lo mide en  $\frac{l}{min}$ , por lo que realizando la respectiva conversión se tiene que el caudal (Q) necesario para cumplir con un tiempo de elevación competitivo es:

$$Q = \frac{0.00541m^3}{60 s} = 0.0000902 \frac{m^3}{s} * \frac{1000l}{m^3} * \frac{60s}{1 min} = 5.41 \frac{l}{min}$$

Es importante mencionar, el caudal que se calculó es el mínimo requerido para que los actuadores puedan elevar el contenedor en un tiempo competitivo frente a los equipos actualmente en el mercado. Además, este caudal es después de pasar por la válvula divisora de flujo de tipo engranajes. Por lo que:

$$Q_T = 5.41 \frac{l}{min} * 4 = 21.64 \frac{l}{min}$$

Dónde,  $Q_T$  es el caudal total mínimo que necesita el sistema para alcanzar un tiempo de elevación competitivo. Este caudal permitió el dimensionamiento correcto del caudal que debe generar la bomba hidráulica.

Teniendo el caudal y la presión requeridas como mínimo para el correcto funcionamiento del sistema, se pudo calcular la potencia mínima de la bomba requerida y posteriormente, la potencia del motor asumiendo una eficiencia del 85%.

$$P_{hid} = \frac{QP}{600} \quad (2.18)$$

Dónde:

$P_{hid}$ : Potencia hidráulica en kW

Q: Caudal del sistema hidráulico en LPM

P: Presión del sistema en bares

Considerando el doble del caudal calculado anteriormente, y una presión de 600 psi, casi del doble calculado anteriormente, se tiene:

$$P_{hid} = \frac{(21.64)(2)(600)\left(\frac{1}{14.50}\right)}{600} = 2.98 \text{ kW}$$

Considerando una eficiencia de transmisión de energía entre el motor y la bomba del 85% se tiene que:

$$P_{motor} = \frac{P_{hid}}{\eta} = \frac{2.98 \text{ kW}}{0.85} = 3.51 \text{ kW} = 4.71 \text{ hp}$$

### **Reservorio**

El dimensionamiento de la capacidad del reservorio está dado por la siguiente fórmula, proveniente de la investigación realizada en el Capítulo 1:

$$V_T = 1.1 * n * Q_T \quad (2.19)$$

Dónde:

$V_T$ : Capacidad volumétrica del reservorio en l

n: Número entre 3 y 5

$Q_T$ : Caudal total entregado por la bomba hidráulica en  $\frac{l}{min}$

El 1.1 dentro de la fórmula, es porque se sumó un 10% que es el espacio destinado como colchón para el aire, tal cual se mencionó en el Capítulo 1. Es así como se tiene:

$$V_T = (1.1)(4)(21.64) = 95.22 \text{ l}$$

### **Adición de componentes para mayor robustez**

El sistema hidráulico incorporó componentes que otorga al diseño mayor seguridad, monitoreo y control de las variables de interés del sistema. Estos componentes se pueden observar en la Tabla 2.14 y sus funciones dentro del sistema.

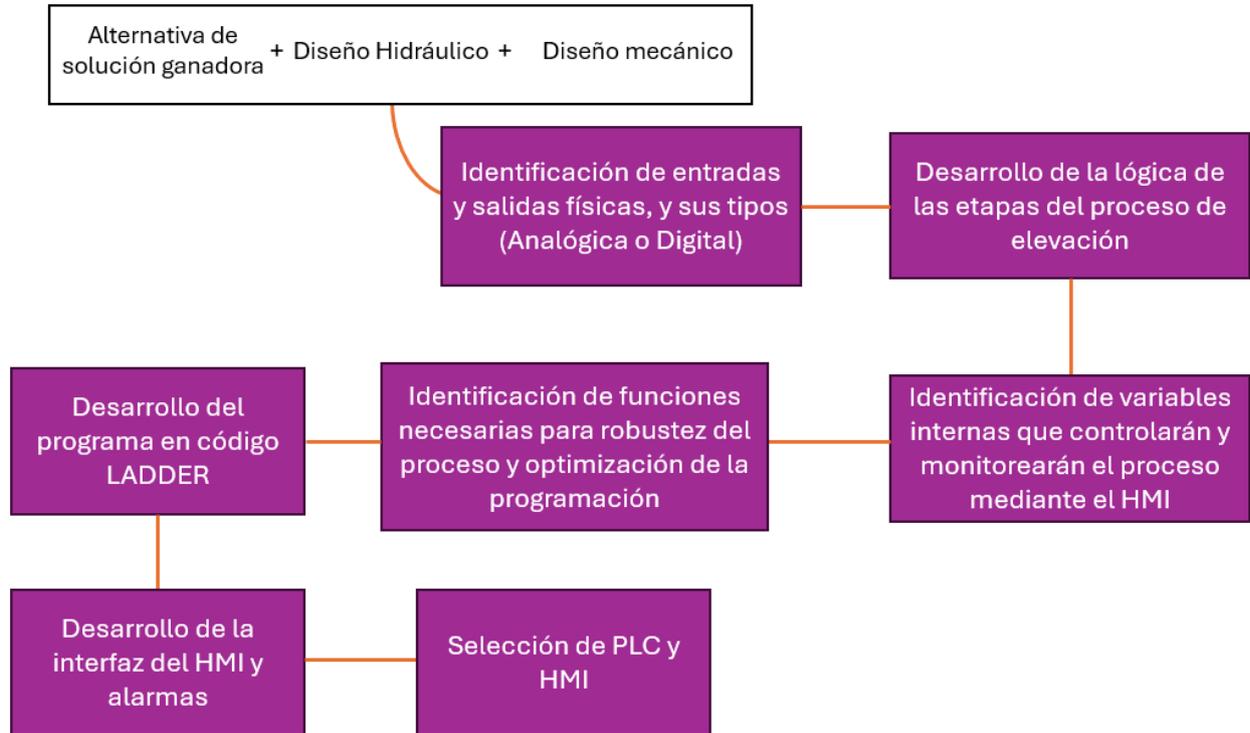
**Tabla 2.14**

*Componentes distintivos en el sistema hidráulico*

<b>Componente</b>	<b>Función</b>
Llave de paso	Permite, cerrar y abrir el paso de un punto a otro dentro del sistema. Clave para la calibración de la válvula de alivio de presión para establecer la presión del sistema.
Válvula antirretorno	Permite el paso del flujo en un solo sentido. Importante para que se cumpla ciertas funciones en una dirección deseada.
Manómetro analógico	Monitorea la presión de un punto del sistema. En este proyecto, se utilizó para monitorear constantemente la presión en la salida del sistema motor-bomba.
Válvula reguladora de flujo	Permite modificar el caudal de una línea del sistema mediante una variación de su sección transversal. Fundamental, para dar un control en la velocidad de los cilindros hidráulicos.
Válvula de contrabalanceo	Elemento esencial para la seguridad del sistema. Conectado en serie con la cámara de entrada del cilindro, permite que, aunque se desconecte el sistema, exista una fuerza externa adicional o haya una fuga, el vástago del cilindro no se retraiga bruscamente porque la válvula asegura una presión mínima en la entrada de la cámara de entrada.

## **2.5 Diseño de Control Industrial**

El diseño del control industrial abarcó desde la creación de la lógica del programa para controlar y monitorear el proceso, hasta el desarrollo de la interfaz HMI que interactúa directamente con el operador. Para ello, se siguió la metodología descrita en la Figura 2.37, la cual se basó en los diseños previos y en las características de la alternativa de solución ganadora.

**Figura 2.37***Metodología del Diseño de Control Industrial***Identificación de entradas y salidas físicas**

En esta etapa se definió las entradas y salidas físicas conectadas al PLC, esenciales para el control y monitoreo del proceso de elevación. En la Tabla 2.15 se presenta un listado detallado de estas entradas y salidas, incluyendo su tipo y su función dentro del sistema.

**Tabla 2.15***Entradas y salidas físicas del sistema de monitoreo y control*

<b>Señal</b>	<b>Entrada o Salida</b>	<b>Tipo de Señal</b>	<b>Función</b>
1er Final de Carrera de Tipo Rodillo	Entrada	Digital	Permite conocer la presencia del eje que soporta la camisa durante el intercambio de etapa de elevación
2do Final de Carrera Tipo Rodillo	Entrada	Digital	Permite conocer la presencia del eje colocado en el hueco superior de la camisa, que une el

				movimiento vertical del cilindro con la camisa en la primera etapa de elevación.
1er sensor inductivo de proximidad	Entrada	Digital		Permite conocer la presencia del eje, colocado en el hueco inferior de la camisa, que une el movimiento vertical del cilindro con la camisa en la segunda etapa de elevación.
2do sensor inductivo de proximidad	Entrada	Digital		Permite conocer si el pin pasador del acople gira 90°, asegurando el bloqueo entre la camisa y el contenedor.
Paro de emergencia (botón con auto enclavamiento)	Entrada	Digital		Una vez pulsado, tiene como objetivo, parar el movimiento del sistema por completo.
Guardamotor	Entrada	Digital		Envía una señal digital cuando detecta cualquier sobrecarga, cortocircuito o aumento de temperatura del sistema, protegiendo al motor.
Transductor de posición de cilindro hidráulico	Entrada	Analógica (0-10 V o 4-20 mA)		Permite conocer la posición de la extensión del vástago del cilindro.
Transductor de presión	Entrada	Analógica (0-10 V o 4-20 mA)		Permite conocer la presión en un punto del sistema. En este caso, en la salida del sistema motor-bomba.
Solenoide izquierdo de válvula direccional	Salida	Digital		Cambia la posición al primer estado de la válvula direccional al ser energizada.
Solenoide derecho de válvula direccional	Salida	Digital		Cambia la posición al tercer estado de la válvula direccional al ser energizada.
Bobina de Contactor	Salida	Digital		Conmuta los contactores que permiten el paso de corriente al motor eléctrico al ser energizada.

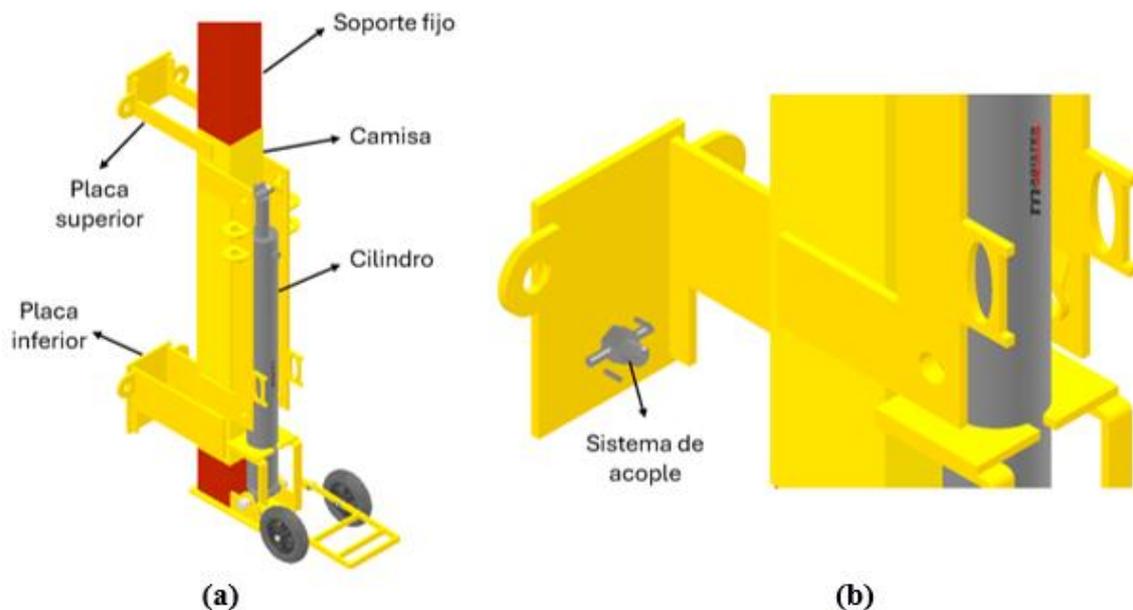
## Desarrollo de la lógica de las etapas del proceso de elevación

El proceso de elevación descrito en los diseños previos se divide en dos etapas debido a que la carrera máxima del vástago del cilindro no alcanza el rango de altura requerido. En función de esto, se definió los diferentes estados por los que el sistema de elevación debe transitar hasta alcanzar la altura máxima. De manera similar, estos mismos estados, pero en orden inverso, se utilizan durante el proceso de descenso hasta que el contenedor llega a la superficie.

Para llegar establecer correctamente los estados del proceso, se identificó las partes principales del elevador hidráulico, observados en la Figura 2.38.

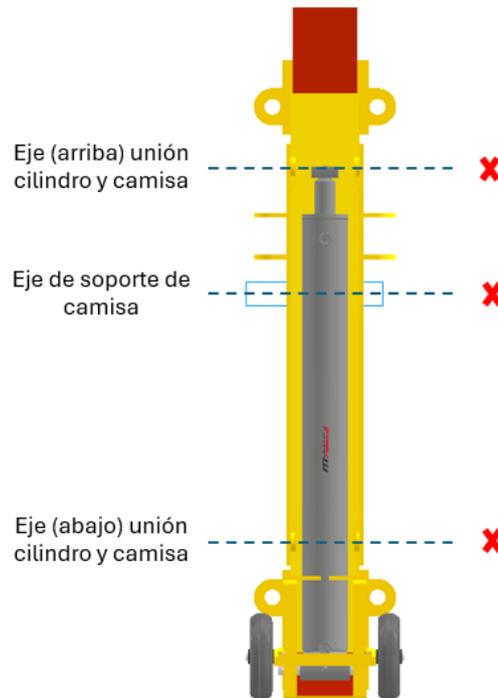
**Figura 2.38**

*Partes principales del diseño del elevador*



*Nota.* (a) Componentes del sistema, (b) Sistema de acople

El estado inicial, primer estado, del proceso de elevación es cuando el cilindro hidráulico está totalmente retraído, la camisa está en la altura más baja posible, casi tocando al suelo y el movimiento del cilindro es independiente al movimiento de la camisa, es decir no se ha insertado ningún eje. Esto se puede observar en la Figura 2.39.

**Figura 2.39***Primer estado del proceso de elevación*

En este primer estado, se analizó algunas de las funciones y acciones permitidas del sistema. También, se estudió las posibilidades y limitaciones físicas de la operación del sistema, para luego, ser consideradas en el desarrollo del programa. Esto, se resume en la Tabla 2.16.

**Tabla 2.16***Consideraciones del primer estado*

<b>Acciones permitidas</b>	<b>Funciones del sistema y consideraciones</b>	<b>Limitaciones físicas en la operación</b>
- Se permite el avance y el retroceso del cilindro.	- El cambio de posición del vástago del cilindro no coincide con el cambio de altura de la camisa. La altura de la camisa se debe mantener en 0. - No hay carga sobre el cilindro.	- No es posible insertar el eje de unión cilindro y camisa en el hueco inferior de la camisa por obstrucción del cuerpo del cilindro. - No es posible insertar el eje de soporte de la

---

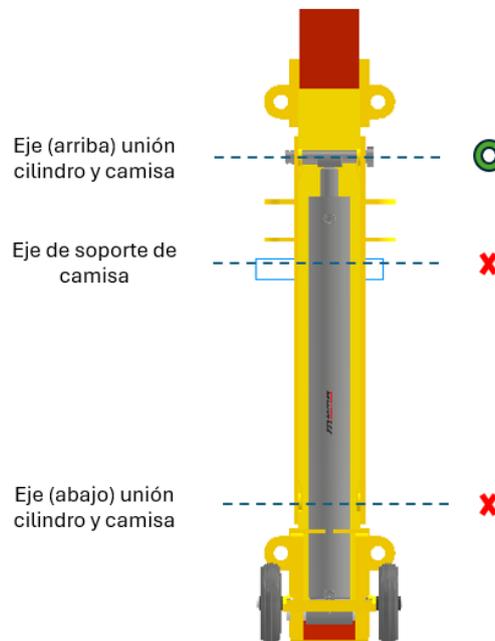
camisa por obstrucción de la propia camisa.

---

Una vez, el operador ingresa el eje de unión entre el cilindro y la camisa en el hueco superior de la camisa, como se observa en la Figura 2.40, el sistema pasa a un siguiente estado: segundo estado. Así mismo, en la Tabla 2.17, se recopila las acciones permitidas, funciones del sistema, consideraciones y limitaciones físicas en la operación en este estado.

**Figura 2.40**

*Segundo estado del proceso de elevación*



**Tabla 2.17**

*Consideraciones del segundo estado*

Acciones permitidas	Funciones del sistema y consideraciones	Limitaciones físicas en la operación
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se permite el avance y retroceso del cilindro.</li> <li>- Se puede regresar al estado anterior, al momento de retirar el eje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La altura de la extensión del vástago del cilindro coincide con el cambio de altura de la camisa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El eje de soporte de la camisa puede ser insertado solamente cuando el cilindro esté completamente extendido.</li> </ul>

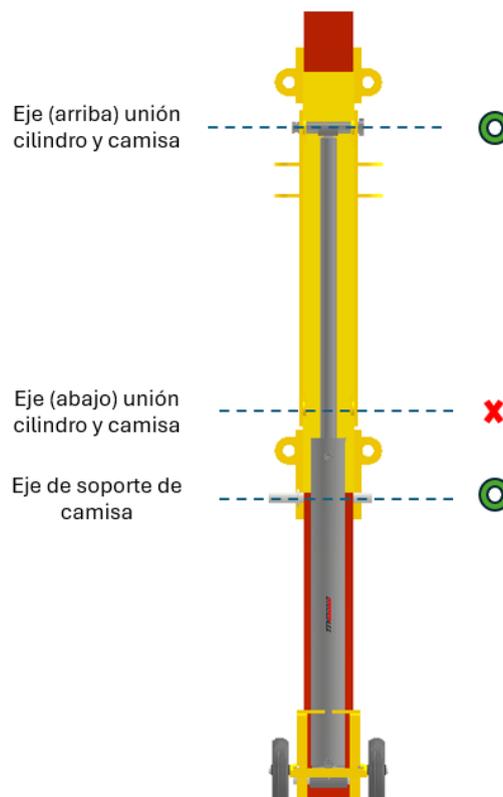
de unión entre el cilindro y la camisa.

- No es posible insertar el eje de unión cilindro y camisa en el hueco inferior de la camisa por obstrucción del cilindro, y porque se está ocupándose.

En este estado, cuando el cilindro esté completamente extendido, si se ingresa el eje de soporte de la camisa como se observa en la Figura 2.41, el sistema pasa a un siguiente estado: tercer estado. En este estado, el cilindro no soporta la camisa, puesto que descansa en el eje de soporte. Así mismo, en la Tabla 2.18, se recopila las acciones permitidas, funciones del sistema y consideraciones. En este estado no hay limitaciones físicas en la operación.

**Figura 2.41**

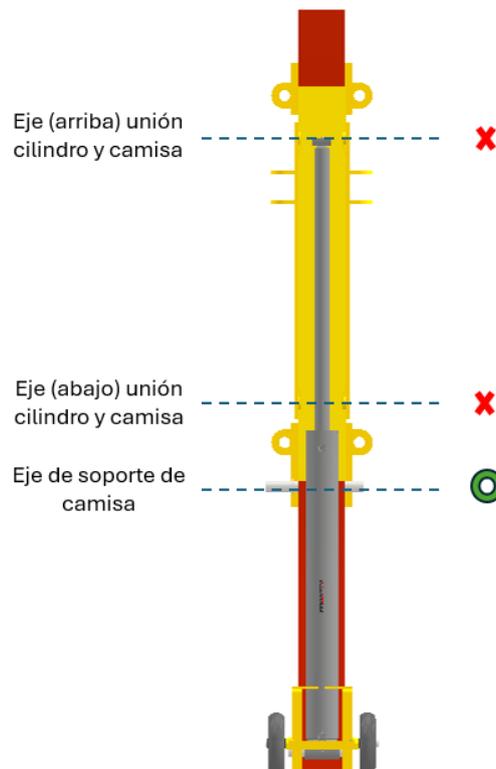
*Tercer estado del proceso de elevación*



**Tabla 2.18***Consideraciones del tercer estado*

Acciones permitidas	Funciones del sistema y consideraciones
- Se permite el avance y retroceso del cilindro.	- La altura de la camisa debe mantenerse igual a la carrera máxima del vástago, porque el movimiento vertical del cilindro no coincide con la camisa.
- Se puede regresar al estado anterior, al momento de retirar el eje de soporte de la camisa.	

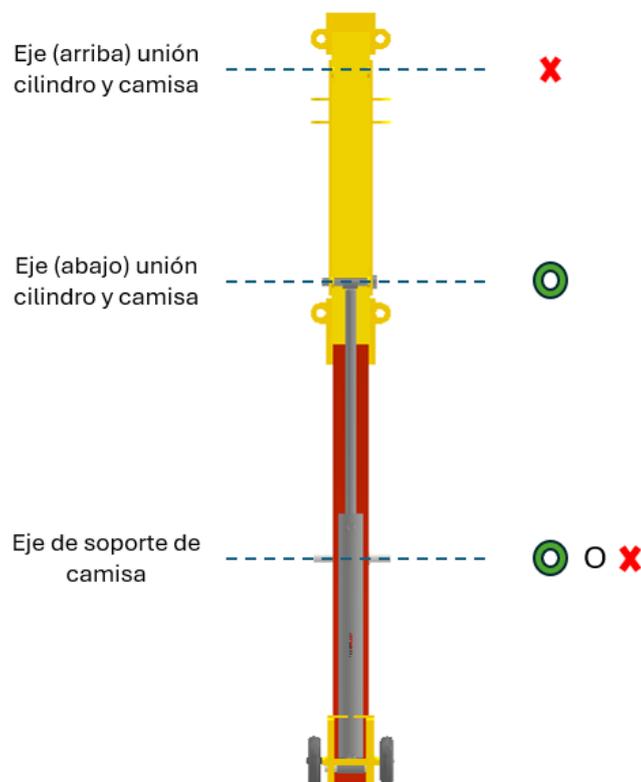
En este estado, si el operador retira el eje de unión entre la camisa y el cilindro, ubicado en el hueco superior de la camisa, como se muestra en la Figura 2.42, el sistema avanza al cuarto estado. Este estado actúa principalmente como una fase de transición hacia el siguiente, por lo que las acciones permitidas, las funciones del sistema y las consideraciones operativas son similares a las del estado anterior.

**Figura 2.42***Cuarto estado del proceso de elevación*

El quinto estado, y último, que se identificó es cuando en el cuarto estado del proceso, se retrae completamente el vástago del cilindro y el operador inserta el eje de unión entre el cilindro y la camisa en el hueco inferior de la camisa. En la Figura 2.43 se puede observar, una vez puesto el eje, el cilindro extendido completamente. La presencia del eje que soporta la camisa es indiferente para este estado, sea que esté o no se sigue en el quinto estado.

**Figura 2.43**

*Quinto estado del proceso de elevación*



Para este último estado también se identificó las acciones permitidas, funciones del sistema y consideraciones las cuales fueron recopiladas en la Tabla 2.19. En este estado no hay limitaciones físicas en la operación.

**Tabla 2.19**

*Consideraciones del quinto estado*

Acciones permitidas	Funciones del sistema y consideraciones
---------------------	---

- 
- Se permite el avance y retroceso del cilindro libremente si es que no hay carga. Si es que hay, no se permite el avance y retroceso hasta que se asegure el sistema mediante el giro de 90° del acople.
  - Se puede regresar al estado anterior, al retirar el eje de unión entre la camisa y el cilindro. La presencia del eje de soporte de la camisa es necesario para efectuar este cambio.
  - La altura de la extensión del vástago del cilindro coincide con el cambio de altura de la camisa.
  - El estado del proceso no cambia, aunque se retire o se vuelva a poner el eje de soporte de la camisa.
- 

### Identificación de variables internas del programa

Una vez, clarificado cómo es la lógica del programa, se identificó cuáles son las variables internas del programa que monitorean y controlan el sistema desde el HMI. Dichas variables, en conjunto a su tipo y función en el programa son presentadas en la Tabla 2.20.

**Tabla 2.20**

*Variables de control o monitoreo internas del programa*

Variable	Tipo	Función
START	Booleana	Enciente el sistema motor-bomba.
STOP	Booleana	Apaga el sistema motor-bomba.
PARO EMERGENCIA	DE Booleana	Indica si el botón paro de emergencia está activado.
MOTOR ENCENDIDO	Booleana	Indica si el sistema motor-bomba está encendido.
ASCENDER	Booleana	Energiza uno de los solenoides de la válvula direccional, pasando el flujo a la cámara de entrada del cilindro extendiendo así el vástago.
DESCENDER	Booleana	Energiza uno de los solenoides de la válvula direccional, pasando el flujo a la cámara de salida del cilindro retrayendo así el vástago.
PARAR	Booleana	Des energiza ambos solenoides de la válvula direccional, para evitar flujo hacia los cilindros manteniendo el vástago su posición.

---

PRESIÓN SISTEMA	DEL	Real	Indica la presión en la salida del sistema motor-bomba.
ACOPLE ASEGURADO		Booleana	Indica si el sistema de acople está asegurado, es decir a 90°.
ALTURA CILINDRO (1, 2, 3, 4)	DE	Entero (INT)	Indica la extensión del vástago de cada cilindro hidráulico.

### **Funciones para robustez del proceso y optimización del programa**

Para la codificación de un programa optimizado y para añadir robustez al proceso, se definió: las acciones que se repiten en el programa en más de una ocasión, situaciones críticas que deban parar el proceso, variables dentro de la interfaz del HMI que son permitidas accionar o manipular de acuerdo con ciertas circunstancias, entre otros; con el fin de establecer bloques de funciones para robustez del programa, ahorro de memoria y optimización de recursos.

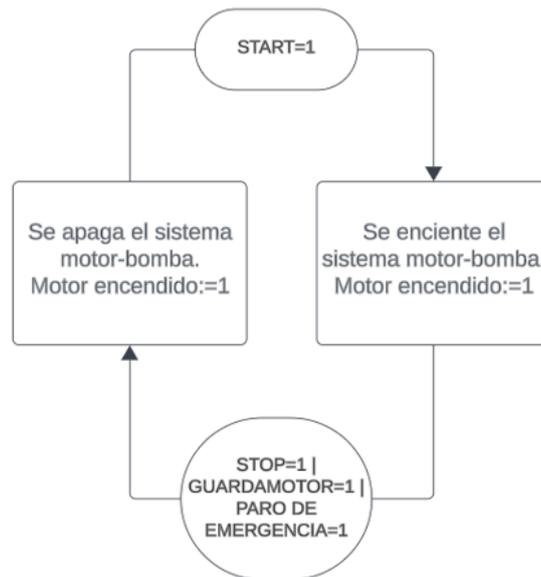
- Función que determina en qué estado del proceso de elevación, del 1 al 5, se encuentra el sistema.
- Función que identifica la presencia de ejes en ubicaciones iguales en los cuatro soportes hidráulicos y si el número de ejes insertados totales es múltiplo de 4.
- Función que monitorea la altura de los cuatro cilindros individualmente y detenga el sistema si la diferencia entre la altura más alta y la más baja entre los cuatro cilindros supera los 3 cm.
- Función que convierta una entrada analógica a un valor real.
- Función que permita habilitar la opción de ascender y descender, además que, bloquee la opción de descender cuando el sistema se esté elevando y bloquee la opción de ascender cuando el sistema esté descendiendo.

## Lógica del programa

En la Figura 2.44, Figura 2.45a y Figura 2.45b se detalla la lógica del programa, que fue utilizada para la codificación del programa en LADDER.

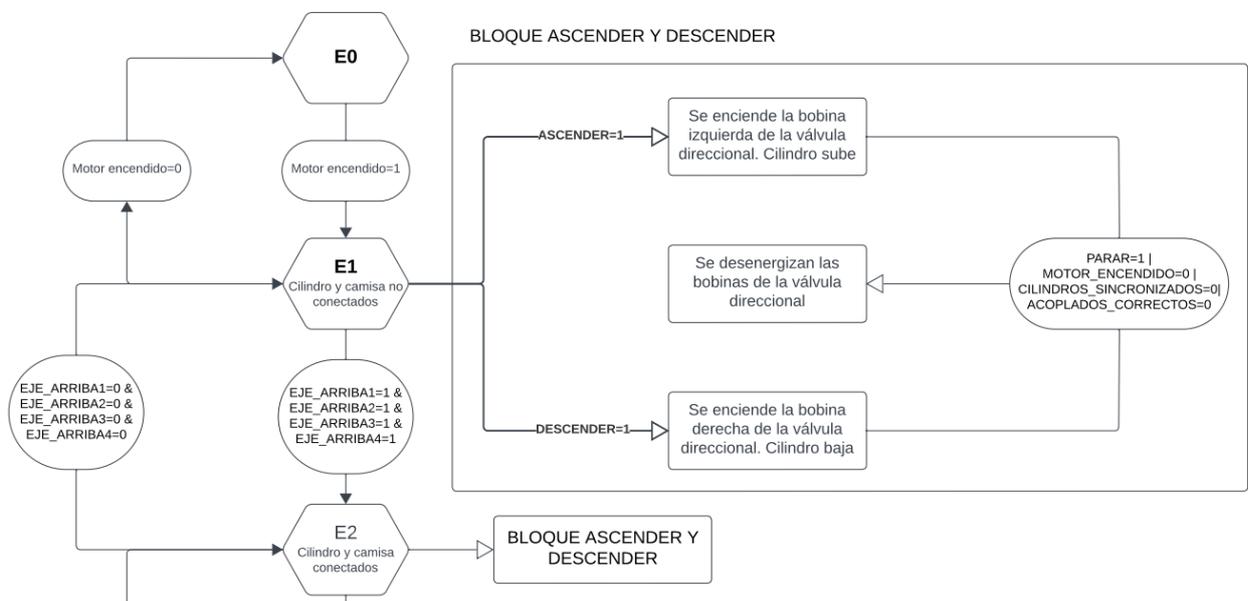
**Figura 2.44**

*Encendido y apagado del sistema motor-bomba*

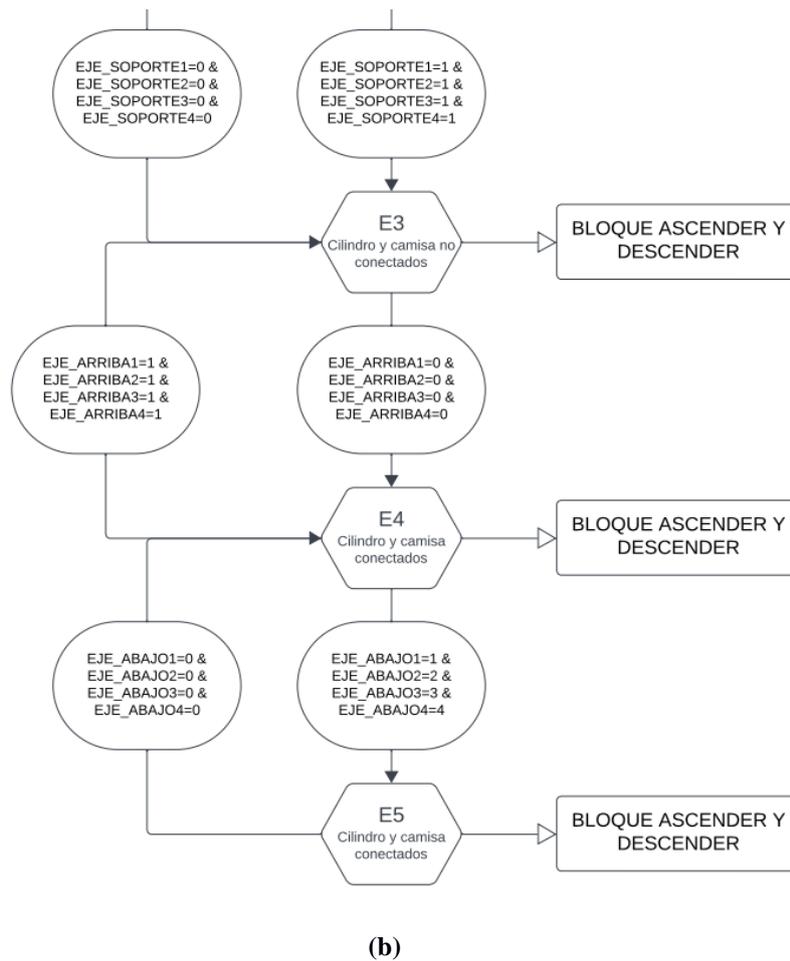


**Figura 2.45**

*Lógica de los estados del programa*



(a)



*Nota.* (a) Lógica de los estados primera parte, (b) Lógica de los estados segunda parte

## 2.6 Diseño Eléctrico

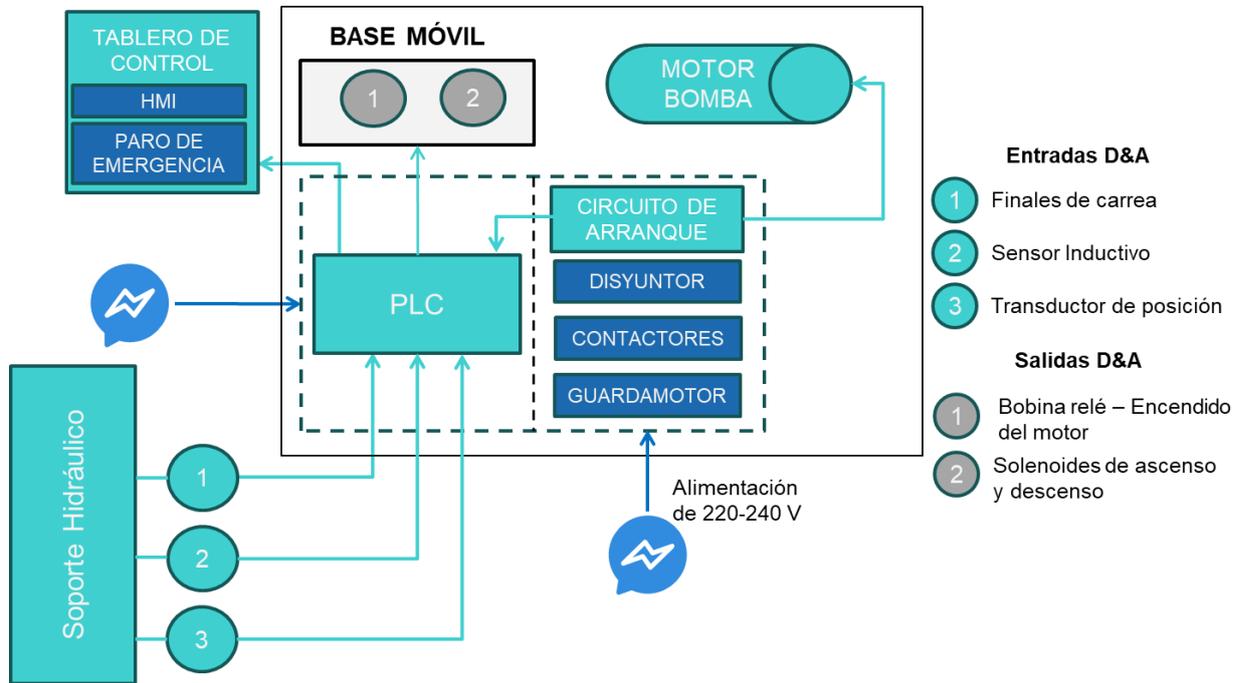
El diseño eléctrico del sistema hidráulico se divide en diversas partes las cuáles se interconectan tal y como se aprecia en la Figura 2.46.

Como núcleo central del sistema, se utiliza un PLC S7-1200, encargado de gestionar las entradas digitales y analógicas provenientes del soporte hidráulico, así como de controlar las salidas digitales relacionadas con el funcionamiento del sistema de elevación. El sistema incluye una pantalla HMI que facilita el monitoreo y control del proceso, junto con un botón de paro de emergencia para garantizar la seguridad operativa. Adicionalmente, se incorpora un circuito de

arranque para el conjunto motor-bomba, alimentado a 220 V, que está interconectado al PLC para permitir un control preciso de su accionamiento.

**Figura 2.46**

*Diagrama de bloques de las conexiones del sistema*

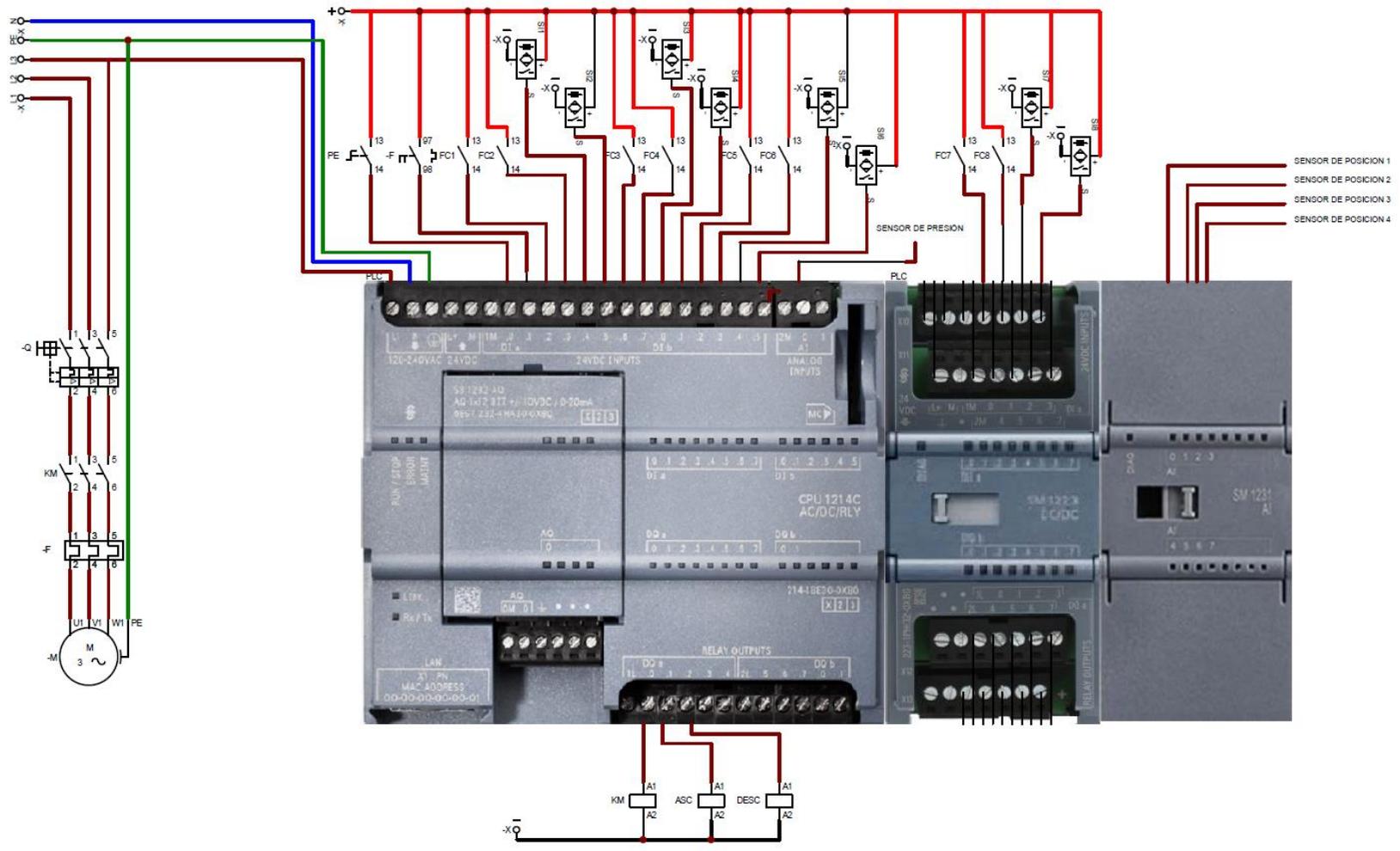


El accionamiento del sistema hidráulico está gestionado por un circuito de control y un circuito de potencia, como se ilustra en la Figura 2.47. El circuito de potencia incluye un motor trifásico alimentado con 220 V, protegido mediante un breaker, un guardamotor y contactores que se activan al energizarse sus bobinas. Por su parte, el circuito de control detalla las conexiones de entrada y salida del PLC.

En las entradas, se integran sensores inductivos, de posición y finales de carrera asociados a los cuatro soportes hidráulicos, además de un contacto auxiliar del guardamotor, un botón de paro de emergencia y un sensor de presión que monitorea continuamente la presión del sistema. En las salidas, se conectan las bobinas de los contactores y de la válvula direccional, encargadas respectivamente del encendido del motor y del cambio de estado de la válvula.

**Figura 2.47**

*Circuito de potencia y control del sistema hidráulico*

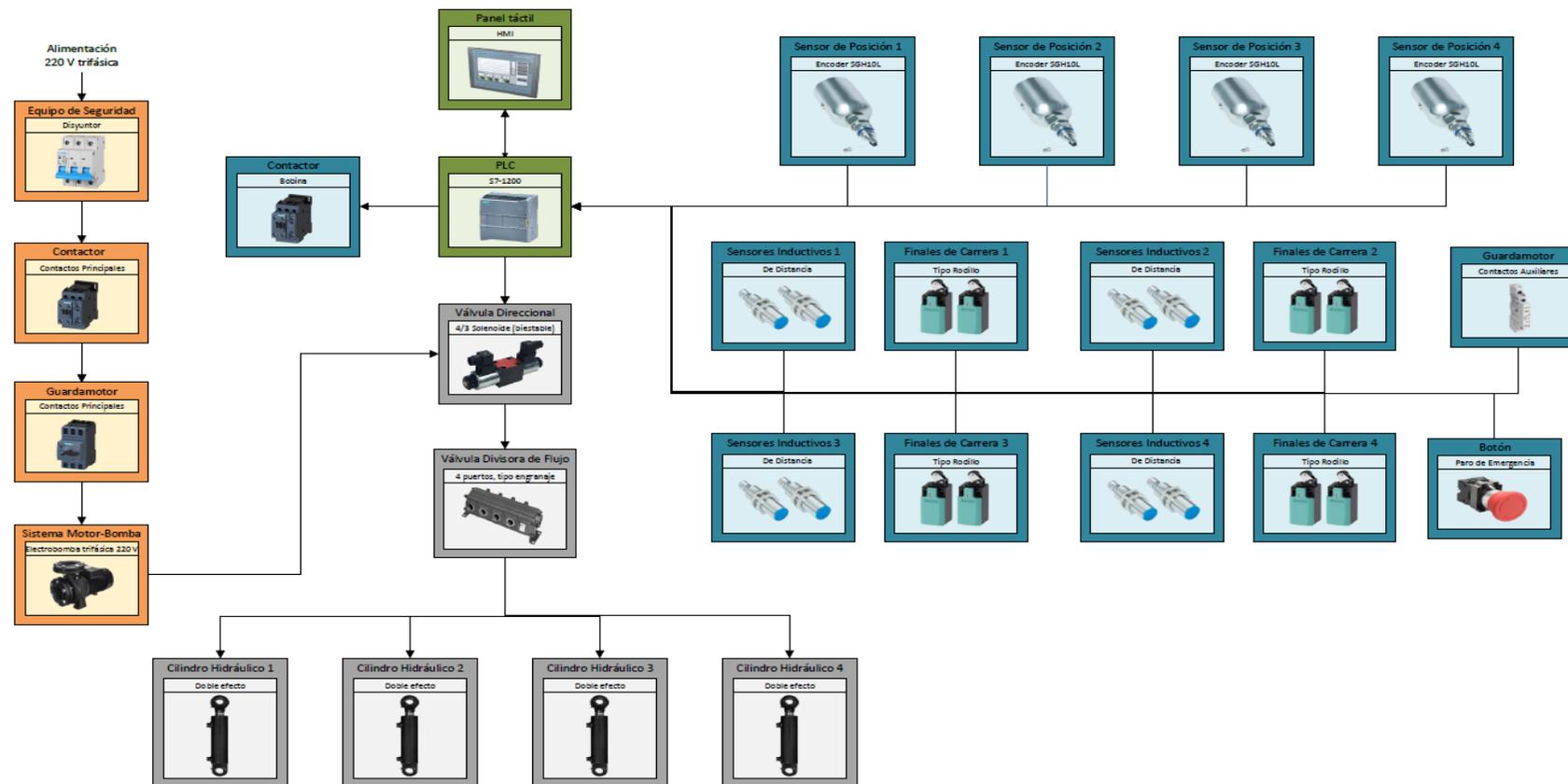


## 2.7 Diseño integral del Elevador Hidráulico

En la Figura 2.48 se observa las interacciones entre los subsistemas del presente proyecto a través de un diseño conceptual.

**Figura 2.48**

*Diseño conceptual general*



## **Capítulo 3**

### 3. Resultados y análisis

#### 3.1 Componente mecánico

##### 3.1.1 Soporte hidráulico

El diseño del soporte de elevación hidráulica fue desarrollado con la finalidad de obtener un sistema que además de poder elevar y descender contenedores, también sea capaz de ser controlado por PLC dada la incorporación de sensores. En la Figura 3.1 se presenta el diseño final del sistema, el cual se divide en tres secciones: como parte mecánica se tiene al sistema conformado por el soporte, la camisa, las placas de apoyo, el sistema de acople y el de ruedas, por la parte electrónica, se tiene a los sensores inductivos, finales de carrera y al sensor de posición, por último, la parte hidráulica se conforma por el cilindro hidráulico y su conexión con la válvula de contrabalanceo.

**Figura 3.1**

*Diseño final del soporte hidráulico*



*Nota.* (a) vista isométrica delantera, (b) vista isométrica trasera

Cabe recalcar que esta representación es del soporte individual y que, para realizar la conexión con el sistema completo (cuatro soportes y la unidad de distribución de la base móvil), es necesario realizar las conexiones de los cables eléctricos y las mangueras hidráulicas en donde correspondan.

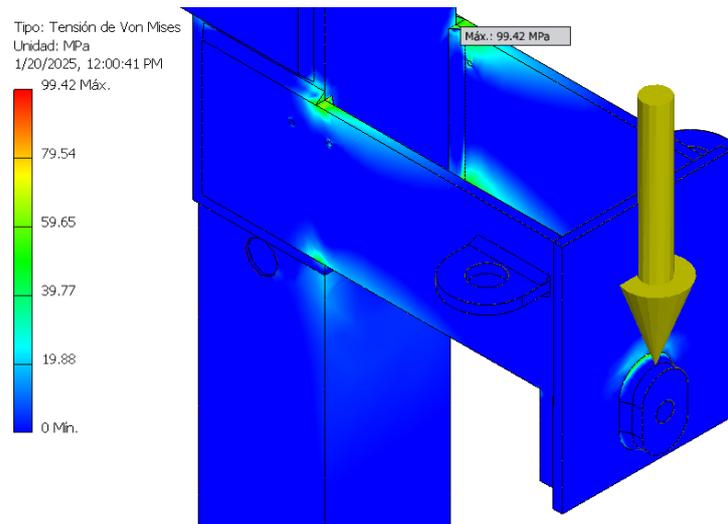
### 3.1.2 Análisis estructural (soporte hidráulico)

#### Escenario 1

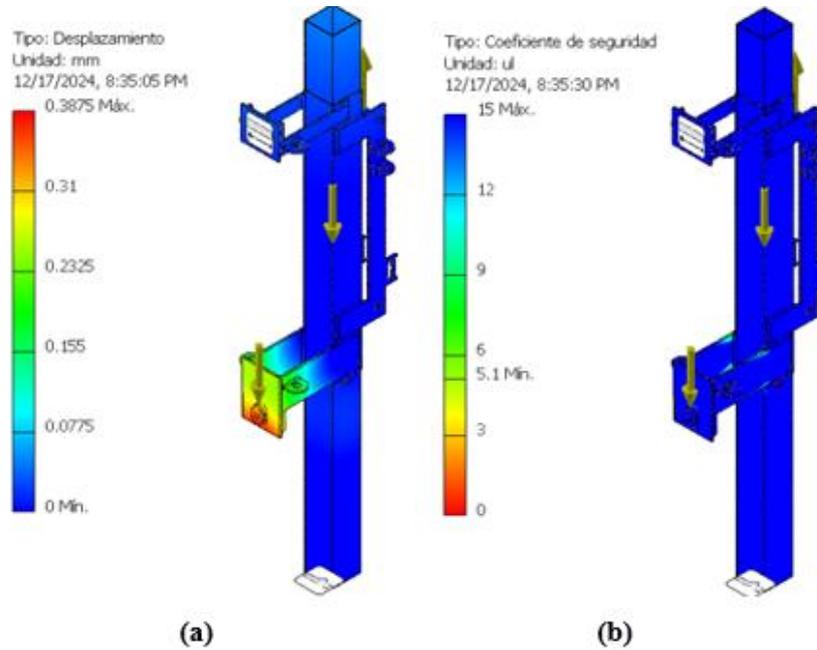
Como se aprecia en la Figura 3.2, las secciones del diseño que sufren más esfuerzos producto de la carga del contenedor corresponden a: las áreas circundantes a las esquinas internas de la soldadura del apoyo inferior, y al área circundante a la soldadura entre la placa del mismo apoyo y el acople donde se aplica la carga. Estos esfuerzos se distribuyen con una variación de entre 0 a 99.42 MPa.

**Figura 3.2**

*Tensión de Von Mises (Escenario 1)*



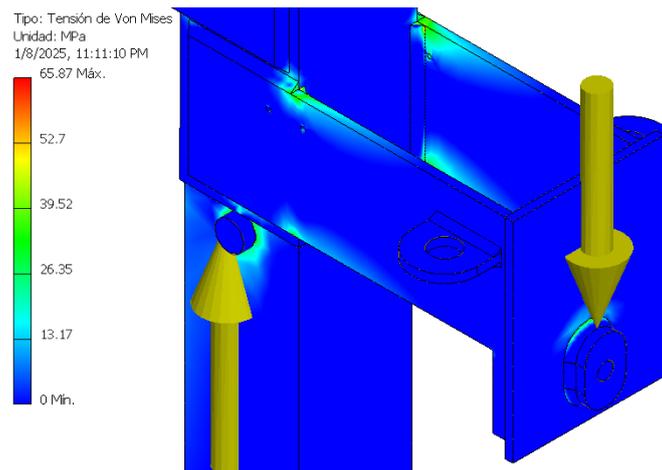
Por otra lado, en la Figura 3.3a, se aprecia que el área de mayor desplazamiento del diseño se da justamente en donde se aplica la carga, con un valor máximo de 0.3875 mm. En segunda instancia en la Figura 3.3b se aprecia el factor de seguridad del sistema, teniendo valores que varían entre 5.1 y 15, lo que, significa que el diseño cumple con los aspectos críticos de funcionamiento.

**Figura 3.3***Desplazamiento y Coeficiente de seguridad (Escenario 1)*

*Nota.* (a) Desplazamiento de la estructura, (b) Coeficiente de seguridad

## Escenario 2

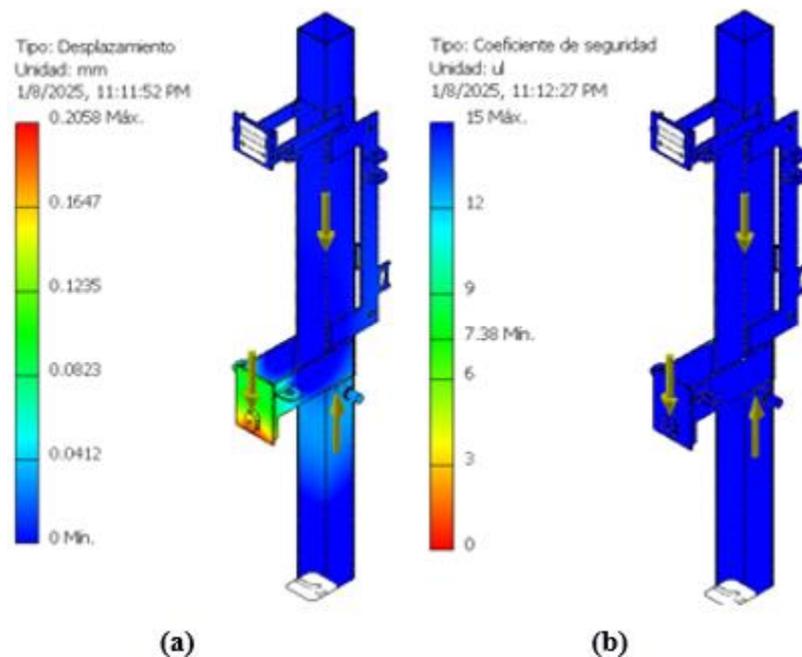
Se aprecia en la Figura 3.4 que las secciones del diseño que sufren más esfuerzos producto de la carga del contenedor corresponden a las mismas del Escenario 1, pero, con la adición de las secciones de contacto del eje con la camisa. Estos esfuerzos se distribuyen con una variación de entre 0 a 65.87 MPa.

**Figura 3.4***Tensión de Von Mises (Escenario 2)*

De igual manera, en la Figura 3.5a, se puede apreciar que para este escenario el área de mayor desplazamiento del diseño se da en la misma zona donde se aplica la carga, con un valor máximo de 0.2058 mm. Además, se aprecia en la Figura 3.5b el factor de seguridad con valores entre 7.38 y 15.

### Figura 3.5

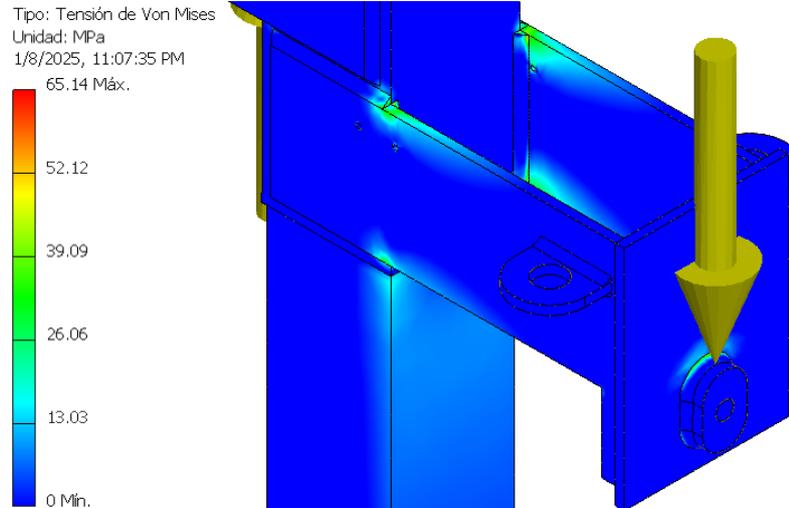
*Desplazamiento y Coeficiente de seguridad (Escenario 2)*



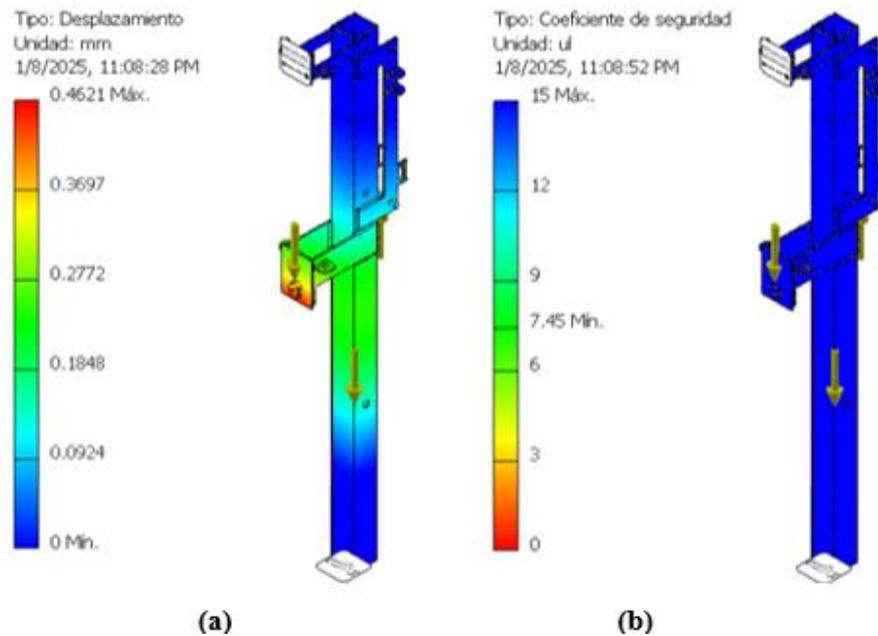
*Nota.* (a) Desplazamiento de la estructura, (b) Coeficiente de seguridad

### Escenario 3

Para el último escenario, se aprecia en la Figura 3.6 que las secciones corresponden a las mismas del Escenario 1, pero, con el cambio de que ahora estos esfuerzos se distribuyen con una variación de entre 0 a 65.14 MPa debido a su cambio de posición.

**Figura 3.6***Tensión de Von Mises (Escenario 3)*

Así mismo, en la Figura 3.7, se puede apreciar que el área de mayor desplazamiento del diseño se da en la misma zona con un valor máximo de 0.4621 mm, además, se tiene un valor de factor de seguridad que varía entre 7.45 y 15.

**Figura 3.7***Desplazamiento y Coeficiente de seguridad (Escenario 3)*

*Nota.* (a) Desplazamiento de la estructura, (b) Coeficiente de seguridad

### 3.1.3 Resultados del análisis estructural (soporte hidráulico)

Por medio de la simulación en Inventor realizada en la sección 3.1.2 *Análisis estructural (soporte hidráulico)*, se obtuvieron los resultados del análisis estructural del soporte hidráulico, en donde se especifican aspectos relacionados a la composición del diseño y a su comportamiento en presencia de cargas externas.

En la Tabla 3.1 se muestran los resultados obtenidos para el Escenario 1 de la Figura 2.26.

**Tabla 3.1**

*Análisis estructural Escenario 1*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor máximo</b>
Volumen [m <sup>3</sup> ]	-	Aproximadamente 0.015
Masa [kg]	-	100 – 125
Tensión de Von Mises [MPa]	0	99.42
Primera tensión principal [MPa]	-18.1	107.4
Tercera tensión principal [MPa]	-111.5	12.9
Desplazamiento [mm]	0	0.3875
Coefficiente de seguridad	5.1	15

Posteriormente, en la Tabla 3.2 se muestran los resultados del Escenario 2 de la Figura 2.28.

**Tabla 3.2**

*Análisis estructural Escenario 2*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor máximo</b>
Tensión de Von Mises [MPa]	0	65.87
Primera tensión principal [MPa]	-14.97	77.1
Tercera tensión principal [MPa]	-64.04	8.41
Desplazamiento [mm]	0	0.4621
Coefficiente de seguridad	7.45	15

Por último, en la Tabla 3.3 se encuentran los resultados que se obtuvieron para el Escenario 3 de la Figura 2.30.

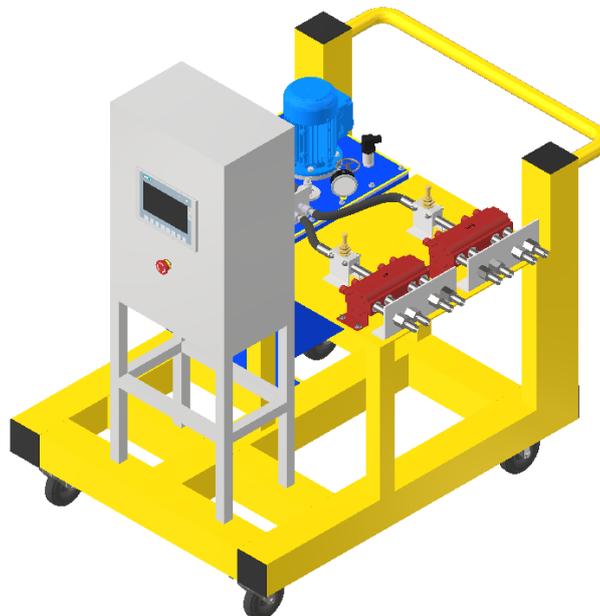
**Tabla 3.3***Análisis estructural Escenario 3*

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo
Tensión de Von Mises [MPa]	0	65.14
Primera tensión principal [MPa]	-13.26	70.03
Tercera tensión principal [MPa]	-80.92	8.01
Desplazamiento [mm]	0	0.3601
Coefficiente de seguridad	10.04	15

**3.1.4 Base móvil**

La base móvil juega un papel fundamental en el sistema, por medio de la incorporación de una unidad de potencia y un tablero eléctrico, es el encargado de suministrar y controlar el paso de aceite desde los puertos de salida de la parte hidráulica hacia los cuatro soportes hidráulicos.

En la Figura 3.8 se aprecia la distribución final dada a la base móvil, en donde la ubicación de sus componentes está pensada de tal forma que el operador pueda observar el proceso de levantamiento y al mismo tiempo poder controlarlo por medio de la pantalla HMI que incluye el tablero.

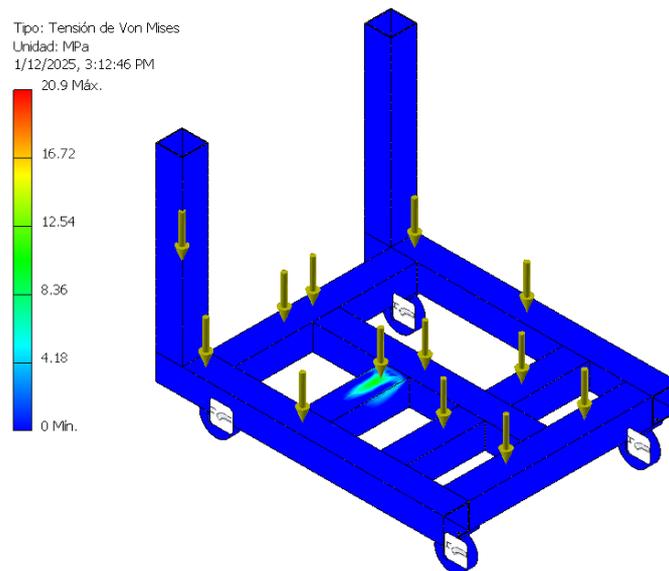
**Figura 3.8***Diseño final Base móvil*

### 3.1.5 Análisis estructural (Base móvil)

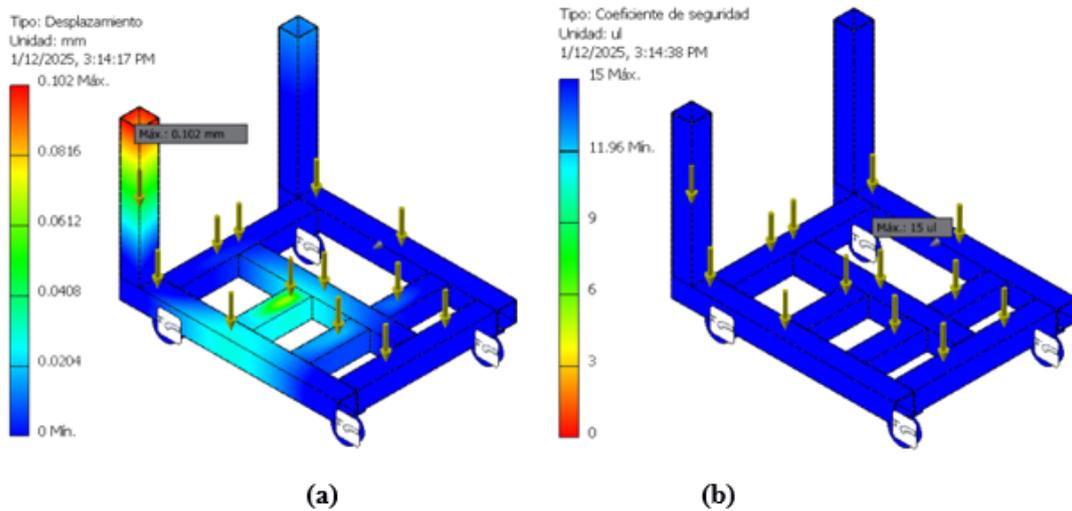
Como resultado de la simulación, se aprecia en la Figura 3.9 que los esfuerzos varían entre 0 a 20.9 MPa y que la zona de mayor reacción producto de las cargas establecidas, corresponde a la zona de ubicación de la unidad de potencia, siendo este el objeto más pesado colocado en la base.

**Figura 3.9**

*Tensión de Von Mises (Base móvil)*



Así mismo, en la Figura 3.10a se observa como resultado que el desplazamiento máximo fue 0.102 mm y se encuentra ubicado en el soporte vertical cercano a la ubicación de la unidad de potencia. Por último, en la Figura 3.10b el resultado que se aprecia es un factor de seguridad que varía entre 11.96 y 15, siendo estos valores una muestra de la eficiencia y seguridad que presenta la estructura.

**Figura 3.10***Desplazamiento y Coeficiente de seguridad (Base móvil)*

*Nota.* (a) Desplazamiento de la estructura, (b) Coeficiente de seguridad

### 3.1.6 Resultados del análisis estructural (base móvil)

Los resultados del análisis estructural de la simulación realizada en la sección 3.1.5 para la base móvil son presentados en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4***Resultados del análisis estructural – Base móvil*

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo
Volumen [m <sup>3</sup> ]	-	Aproximadamente 0.011
Masa [kg]	-	82
Tensión de Von Mises [MPa]	0	20.9
Primera tensión principal [MPa]	-5.36	21.23
Tercera tensión principal [MPa]	-21.77	4.87
Desplazamiento [mm]	0	0.102
Coeficiente de seguridad	11.96	15

### 3.1.7 Análisis de Fatiga

Con la finalidad de conocer el comportamiento del sistema en presencia de cargas y su susceptibilidad a fallar debido a la fatiga generada, se llevó a cabo un análisis mediante la teoría

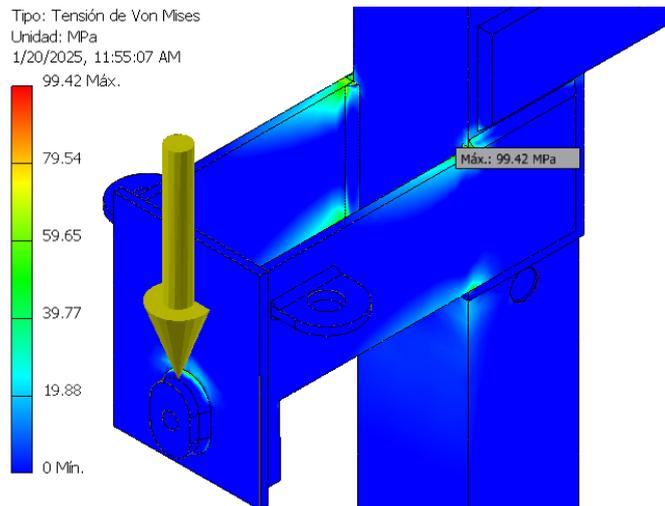
de energía de distorsión. Su selección se debe a que dicha teoría representa una gran utilidad en trabajos de experimentación y a su interpretación más compleja de la deformación de un segmento infinitesimal de un cuerpo en específico basado en la computarización de los esfuerzos principales que ese harán presentes en el esfuerzo de Von Mises.

### Análisis estático

Como primera parte, se realizó el análisis estático para el Escenario 1 con el objetivo de hallar la zona en donde se produzca la mayor concentración de esfuerzos, dando como resultado que esta zona se encuentra alrededor de la placa del apoyo inferior de la camisa del soporte (Figura 3.11).

**Figura 3.11**

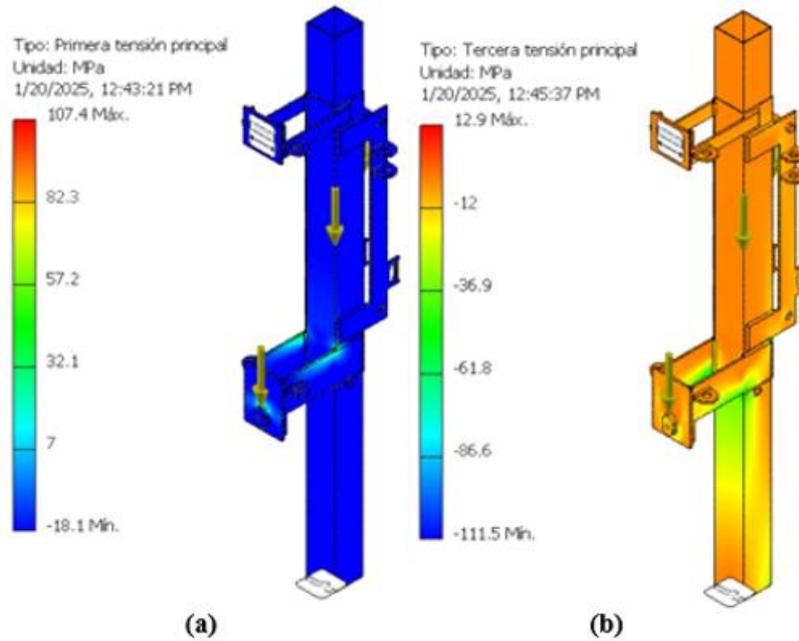
*Análisis estático (Von Mises)*



Por otra parte, el primer y tercer esfuerzo principal nos ayudan a determinar si la pieza se encuentra en tensión o compresión, en este caso la pieza se encuentra en tensión debido a que el valor del primer esfuerzo principal es positivo y mayor al valor del tercer esfuerzo principal  $107.4 \text{ MPa} > 12.9 \text{ MPa}$  (Figura 3.12).

**Figura 3.12**

*Análisis estático (Primera y tercera tensión principal)*

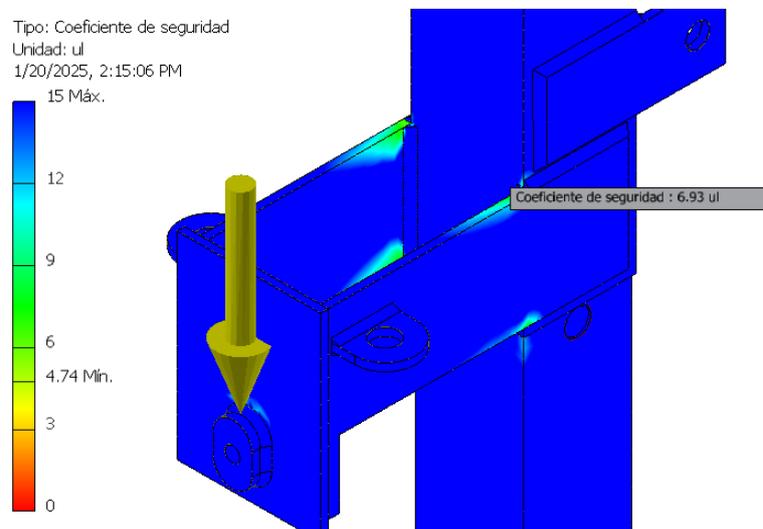


*Nota.* (a) Primera tensión principal (b) Tercera tensión principal

En adición, para verificar la seguridad estructural del sistema se realizó una comparación de resultados, teniendo como primer valor de comparación al coeficiente de seguridad sin corregir de 6.93 tal y como se aprecia en la Figura 3.13.

**Figura 3.13**

*Análisis estático (coeficiente de seguridad)*



El último paso consiste en especificar las propiedades del material de la zona establecida, en la Tabla 3.5 se detallan las resistencias del material y su método de fabricación.

**Tabla 3.5**

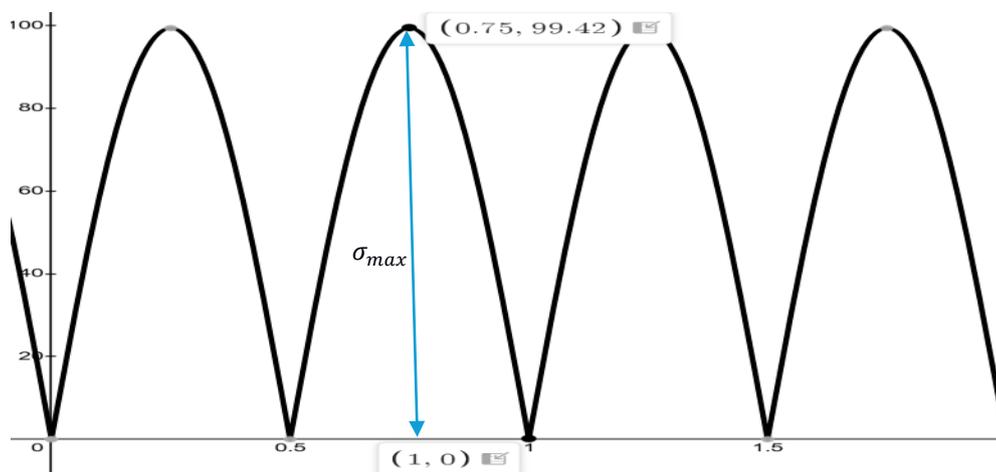
*Propiedades del material*

Propiedades	
Material	Acero estructural ASTM A 572/A572M
Resistencia a la tensión ( $S_{ut}$ )	450 MPa
Resistencia a la fluencia ( $S_y$ )	345 MPa
Resistencia a la fatiga sin corregir ( $S'_e$ )	225 MPa
Fabricación	Laminado en caliente

Antes de proceder con los cálculos de fatiga, se muestra en la Figura 3.14 la variación que presenta el diseño cuando se aplica una carga que dinámica que va entre 0 a 1200 kg, la cual se distribuye y localiza en el acople y en el eje superior perteneciente a la camisa del soporte.

**Figura 3.14**

*Variación del esfuerzo de Von Mises*



Los resultados correspondientes a la aplicación de la carga en el diseño se especifican en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6***Variación en la condición de carga*

Condición de carga 0 kg		Condición de carga 1200 kg	
$\sigma'$	0 MPa	$\sigma'$	99.42 MPa
$\sigma_1$	0 MPa	$\sigma_1$	107.4
$\sigma_2$	0 MPa	$\sigma_2$	12.9

Ante la condición de carga dada, el componente de esfuerzo medio y de la amplitud viene dado por la ecuación:

$$\sigma'_{max} = \sigma'_a = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (3.1)$$

En donde:

$\sigma'_{max}$ : Componente de esfuerzo medio

$\sigma'_a$ : Componente de amplitud

$$\sigma'_{max} = \frac{99.42}{2} = 49.71 \text{ MPa}$$

La razón de esfuerzo viene dada por:

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = 0 \text{ MPa}$$

**Tabla 3.7***Resumen del ciclo de esfuerzos*

Ciclo de esfuerzos	
$\sigma'_{max}$	99.42 MPa
$\sigma'_{min}$	0 MPa
$\sigma'_m$	49.71 MPa
$\sigma'_a$	49.71 MPa
R	0 MPa

### Resistencia a la Fatiga

La resistencia a la fatiga fue calculada por medio de la ecuación de Marín [44].

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e \tag{3.2}$$

En donde:

$K_a$ : Factor de superficie

$$k_a = a S_{ut}^b \tag{3.3}$$

**Tabla 3.8**

*Factor de superficie por su acabado superficial [44]*

Acabado superficial	Factor $a$		Exponente $b$
	$S_{utr}$ kpsi	$S_{utr}$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

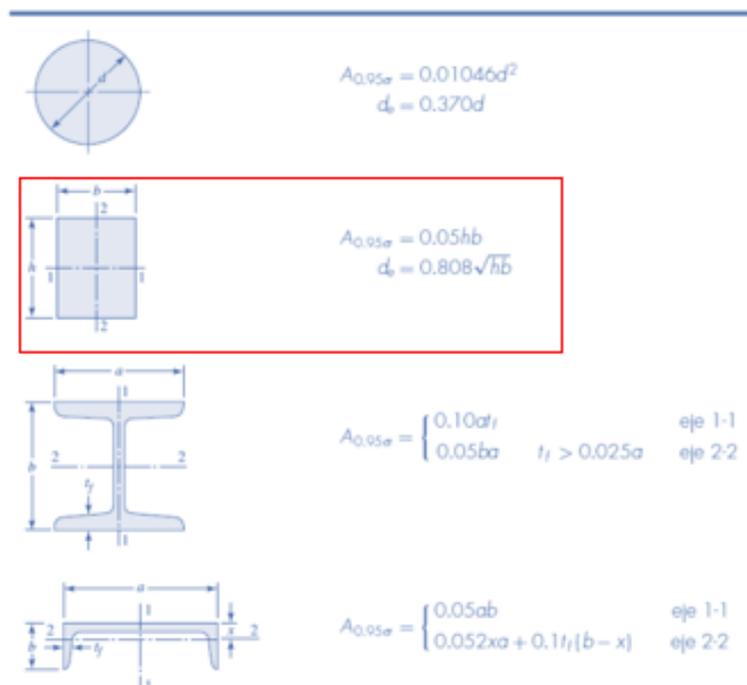
De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Hinger (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

$$k_a = 57.7 * 450^{-0.718} = 0.72$$

$K_b$ : Factor de tamaño

**Figura 3.15**

*Factor de tamaño para geometrías no circulares [44]*



$$A_{95} = 0.05bh \quad (3.4)$$

En donde:

b: ancho de la pieza 400 mm

c: altura de la pieza 150 mm

$$A_{95} = 0.05 * 400 * 150 = 3000 \text{ mm}$$

$$d = \sqrt{\frac{A_{95}}{0.0766}} = 0.808\sqrt{bh} = 197.90 \text{ mm} \quad (3.5)$$

### Figura 3.16

Selección del factor de tamaño [44]

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

$$k_b = 1.51d^{-0.157} = 0.66 \quad (3.6)$$

$K_c$ : Factor de carga

Se genera un momento de flexión dada por la aplicación de la carga.

$$k_c = 1$$

$K_d$ : Factor de temperatura

La pieza se encuentra en condiciones normales de temperatura, por lo que, se aproxima el factor de temperatura a 1 según la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9***Factor de temperatura [44]*

Temperatura, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperatura, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

\*Fuente de datos: figura 2-9.

$$k_d = 1$$

**Tabla 3.10***Factor de confiabilidad [44]*

Confiabilidad, %	Factor de confiabilidad $k_e$
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

$$k_e = 0.868$$

Reemplazando los factores obtenidos en la ecuación de Marín se obtuvo que:

$$S_e = 0.72 * 0.66 * 1 * 1 * 0.868 * 225$$

$$S_e = 92.81 \text{ MPa}$$

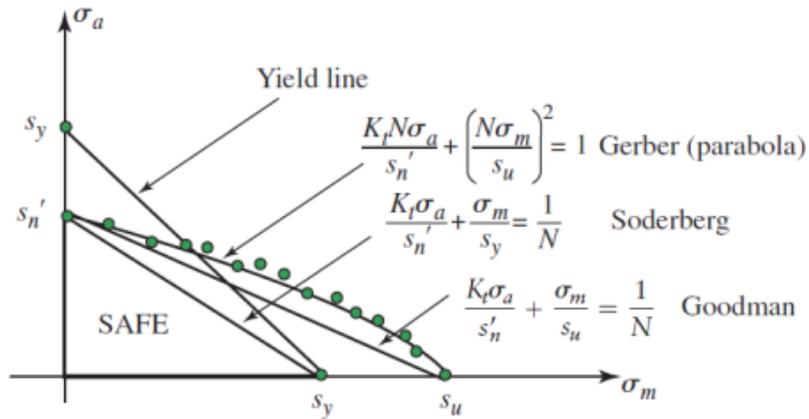
### Factor de seguridad

En este caso, se determinó el factor de seguridad de la zona seleccionada por medio de la ecuación de Goodman [45], véase Figura 3.17, siendo esta teoría seleccionada de entre todas la

demás debido a que presenta un análisis conservador que asegura un diseño seguro, y a su vez es de cálculos simples.

**Figura 3.17**

*Teorías de falla por fatiga [45]*



$$\frac{\sigma_a'}{S_e} + \frac{\sigma_m'}{S_{ut}} = \frac{1}{N} \tag{3.7}$$

$$N = \frac{1}{\frac{\sigma_a'}{S_e} + \frac{\sigma_m'}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{49.71}{92.81} + \frac{49.71}{450}}$$

$$N = 1.54$$

El factor de seguridad presenta un decrecimiento de 6.93 a 1.54, pero debido a las condiciones de uso del sistema en donde el soporte será utilizado aproximadamente 1 vez a la semana, el decrecimiento drástico no representará una gran consideración de funcionamiento para el diseño.

### 3.2 Diseño final del sistema hidráulico

#### 3.2.1 Unidad de potencia hidráulica

Las características de los elementos que conforman la unidad de potencia hidráulica que alimenta de flujo y presión necesarias para el correcto de funcionamiento del sistema hidráulico se presentan en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11***Características de la unidad de potencia hidráulica*

<b>Elemento</b>	<b>Características técnicas</b>	<b>Descripción</b>
Electrobomba	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alimentación trifásica de 220 V</li> <li>- Caudal de 10 GPM</li> <li>- Presión máxima mínima: 1000 psi</li> <li>- Potencia: 5 hp</li> </ul>	Proporciona flujo al sistema hidráulico.
Tanque	Capacidad Volumétrica: 100 l Conexión de entrada ¼" NPT para sensor de presión	Reservorio para el fluido hidráulico.
Filtro de succión		Retiene las impurezas del fluido hidráulico en la entrada de la bomba.
Filtro de retorno		Retiene las impurezas del fluido hidráulico en la entrada del tanque.
Válvula de alivio de presión	Rango de presión: 0-1000 psi Presión de ajuste: 600 psi	Regula la presión del sistema hidráulico.
Válvula de bola	Presión máxima mínima: 1000 psi	Sirve para descarga de presión del sistema. Además, ayuda a configurar la válvula de alivio de presión.
Manómetro analógico	Rango de lectura: 0-1000 psi	Indica la presión de salida de la electrobomba.

En la Figura 3.18, se observa un modelo referencial de la unidad de potencia hidráulica. En este modelo, se incluye la válvula direccional usada en el sistema. Sin embargo, no es obligatorio que sea parte de la unidad.

**Figura 3.18**

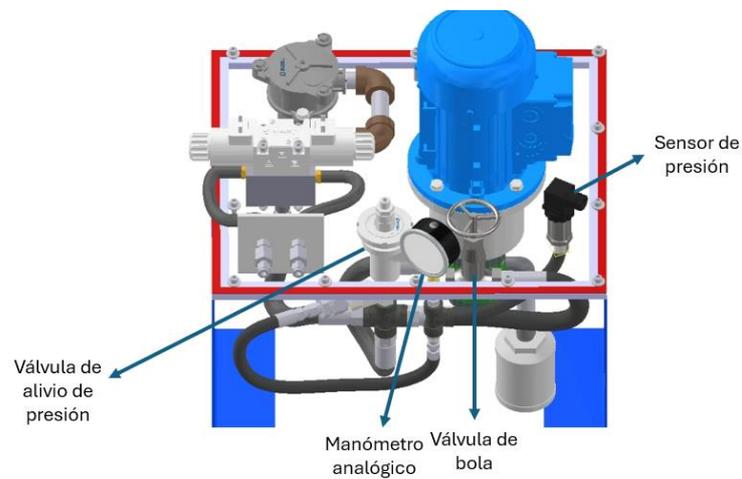
*Modelo referencial de la unidad de potencia hidráulica*



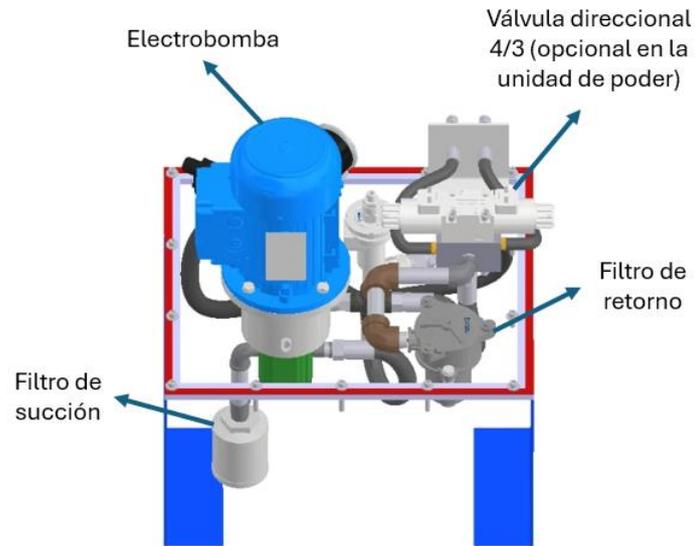
A mayor detalle, se identifica los componentes mencionados en la Tabla 3.11 que conforman la unidad de potencia en la Figura 3.19.

**Figura 3.19**

*Componentes de la unidad de potencia hidráulica*



**(a)**



(b)

*Nota.* (a) Vista frontal, (b) Vista posterior

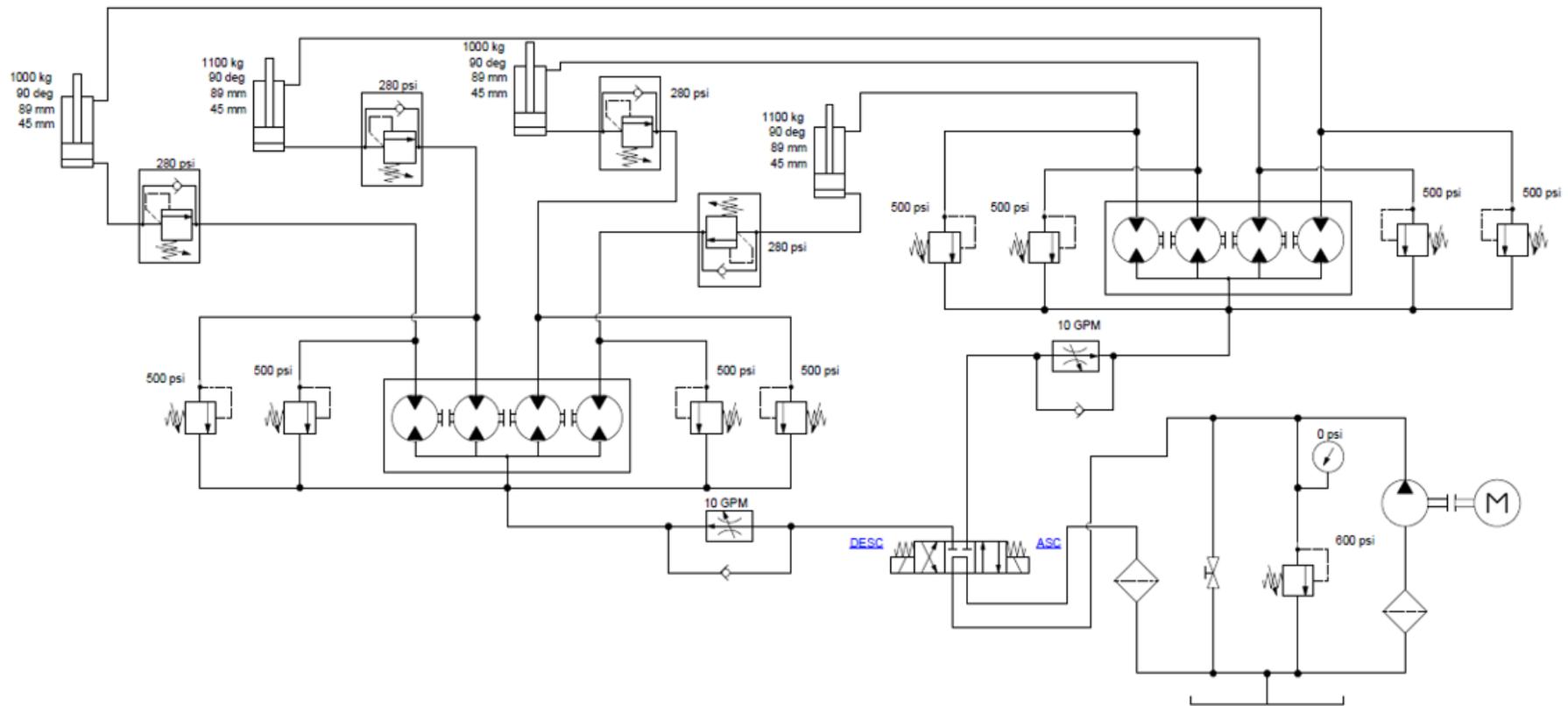
La viscosidad del fluido hidráulico almacenado en el tanque hidráulico debe estar dentro de un rango de viscosidad recomendado [46], para garantizar un correcto funcionamiento del circuito hidráulico. Uno de los aceites hidráulicos más utilizados en el mercado industrial local es el ISO 68, que cumple con los requisitos de viscosidad del diseño. Este aceite presenta una viscosidad de 8.9 cSt a 100 °C y 68 cSt a 40 °C [47].

### 3.2.2 Valores de ajuste y conexiones del sistema hidráulico

Las conexiones entre los componentes del sistema hidráulico se muestran en la Figura 3.20, parte del Plano 2 véase en el Apéndice D.

**Figura 3.20**

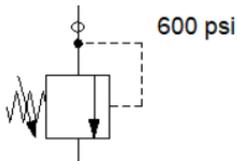
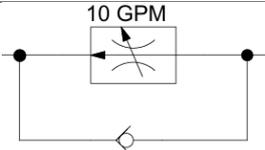
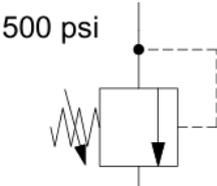
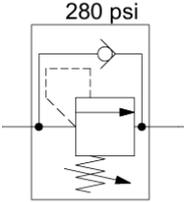
*Conexiones hidráulicas del sistema*



Los valores a los que fueron ajustadas las válvulas del sistema hidráulico fueron en base a lo calculado en el Capítulo 2, los cuales están descritos en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12**

*Valores de ajuste de las válvulas del sistema hidráulico*

Elemento	Valor de ajuste	Descripción	Simbología
Válvula de alivio de presión	600 psi	Presión de trabajo del sistema hidráulico, el doble de la presión necesaria para levantar el peso máximo.	
Válvula reguladora de flujo (línea ascenso y descenso)	10 GPM	Valor apenas por debajo del doble del caudal mínimo requerido.	
Válvula de alivio de presión de puerto cruzado	500 psi	Se recomienda ajustar a un valor 200-400 psi por encima de la presión necesaria para levantar el peso máximo, o usar la configuración recomendada si es que está integrada a la válvula divisora de flujo [1].	
Válvula de contrabalance	280 psi	Valor de presión aproximado que contrarresta el peso máximo.	

### 3.2.3 Selección de equipos hidráulicos

La selección de los equipos hidráulicos se realizó considerando los requerimientos técnicos mínimos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, priorizando también su disponibilidad en el mercado local para facilitar una futura implementación. Es importante

destacar que los elementos hidráulicos seleccionados no representan las únicas opciones posibles, ya que existen otros modelos compatibles que podrían ser utilizados en la ejecución del diseño.

Comenzando con el actuador encargado de la elevación del contenedor, el cilindro hidráulico SKU: WCT 3.5x32 de marca europea Magister Hydraulics cumple con las características técnicas necesarias, presentadas en la Tabla 3.13, para evitar el pandeo en su vástago, elevar el contenedor a la altura requerida y encajar perfectamente con el diseño del presente proyecto.

**Tabla 3.13**

*Características técnicas del cilindro hidráulico SKU: WCT 3.5x32*

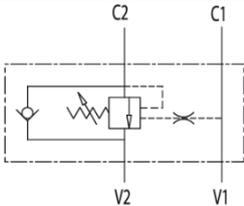
Imagen de referencia	Característica técnica	Descripción
	Tipo	Doble efecto
	Diámetro de pistón	3.5 pulg
	Diámetro de vástago	1.75 pulg
	Diámetro del pasador	1.25 pulg
	Carrera	32 pulg
	Longitud completamente retraído	42 pulg
	Longitud completamente extendido	74 pulg
	Carga máxima	19000 lbf
	Presión máxima	3500 psi
	Masa	64 lb

*Nota.* Información extraída directamente de la página oficial de Magister Hydraulics [48]

Para la selección de la válvula de contrabalance, considerada el principal elemento de seguridad del diseño, se optó por el modelo VBCD ½” SE de tipo simple, fabricado por la marca Oleodinamica Marchesini. Las características técnicas de este modelo se detallan en la Tabla 3.14.

**Tabla 3.14**

*Características técnicas de la válvula de contrabalance VBCD 1/2 pulg SE*

<b>Imagen de referencia</b>	<b>Características técnicas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Simbología</b>
	Presión máxima	350 bar o 5076 psi	
	Flujo máximo	50 l/min	
	Relación de diámetro de puerto y pilotaje	1:3,1	

*Nota.* Información extraída directamente del catálogo de válvulas para el control de presión que ofrece Hydromecánica del Ecuador S.A [49]

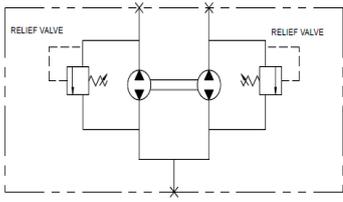
Las conexiones que tiene este modelo de válvula de contrabalance, difiere de las conexiones mostrada en la Figura 3.21. Esta conexión debe realizarse en paralelo con la línea de retorno, debido a que la válvula incorpora una entrada de pilotaje que ayuda a la apertura de la válvula cuando el sistema de elevación esté descendiendo.

Para la selección de la válvula divisora de caudal de tipo engranaje, encargada de garantizar la sincronización de los cilindros durante las fases de ascenso y descenso, se consultó el catálogo de válvulas ofrecido por Delta Power Company, siendo el modelo el modelo HPR21-59 con características técnicas detalladas en la Tabla 3.15, el más adecuado para una futura implementación del diseño.

**Tabla 3.15**

*Características de la válvula divisora de flujo de tipo engranaje HPR21-59*

<b>Imagen de referencia</b>	<b>Características técnicas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Simbología</b>
	Número de puertos de salida	4	

	Desplazamiento volumétrico por revolución	0.00178 gal/rev	
	Máximo flujo de entrada (3500 RPM)	25 GPM	
	Válvulas de alivio de presión de puerto cruzado integradas	Sí	

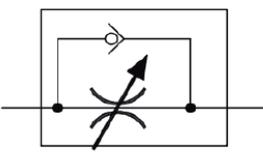
*Nota.* Información extraída directamente del catálogo de válvulas divisoras de flujo de Delta Power Company [50]

La integración interna de válvulas de alivio de presión de puerto cruzado dentro de la válvula divisora de flujo reduce el espacio requerido por el sistema hidráulico y simplifica su instalación. En caso de no contar con esta integración, sería necesario seleccionar por separado válvulas de alivio de presión de puerto cruzado y realizar las conexiones correspondientes, tal como se detalló en la Figura 3.14.

Asimismo, se seleccionó la válvula reguladora de flujo IFP FCI-04 de la marca Fluid Power, cuyas características técnicas (ver Tabla 3.16) cumplen con los requisitos establecidos para el diseño.

**Tabla 3.16**

*Características de la válvula reguladora de flujo IFP FCI-04*

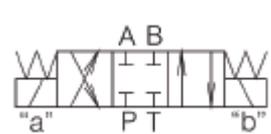
Imagen de referencia	Características técnicas	Descripción	Simbología
	Presión máxima	5000 psi	
	Flujo máximo	15 GPM	
	Diámetro de tubería	½ NPTF	

*Nota.* Información extraída directamente del catálogo de válvulas de control que ofrece Hydromecánica del Ecuador S.A [49]

Finalmente, se seleccionó la válvula de control direccional que cumple con las especificaciones técnicas mínimas necesarias para asegurar el óptimo desempeño del sistema. El modelo RH06021-024/00F de la marca Caproni fue elegido, con características técnicas descritas en la Tabla 3.17.

**Tabla 3.17**

*Características de la válvula direccional RH06021-024/00F*

Imagen de referencia	Características técnicas	Descripción	Simbología
	Tipo	4/3 doble solenoide con centro tándem	
	Alimentación de las bobinas	24 VDC	
	Consumo de corriente	1.3 A	
	Máxima presión	3045 psi	
	Máximo flujo	80 l/min	
	Viscosidad	10-800 mm/s	

*Nota.* Información extraída directamente del catálogo válvulas de control direccional que ofrece Hydromecánica del Ecuador S.A [49]

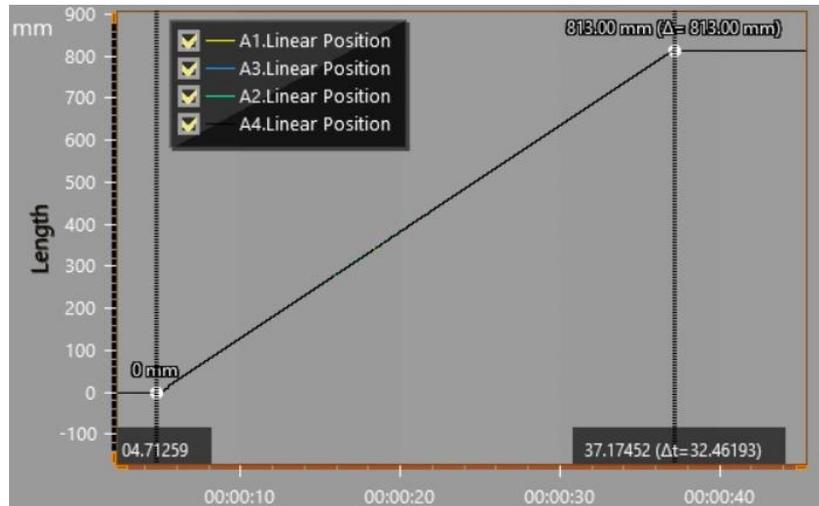
### 3.2.4 Simulación y validación del proceso hidráulico

En el programa Automation Studio se simuló el circuito hidráulico de la Figura 3.20. En la simulación, se generaron gráficas de posición lineal (ver Figura 3.21) y velocidad (ver Figura 3.22) en

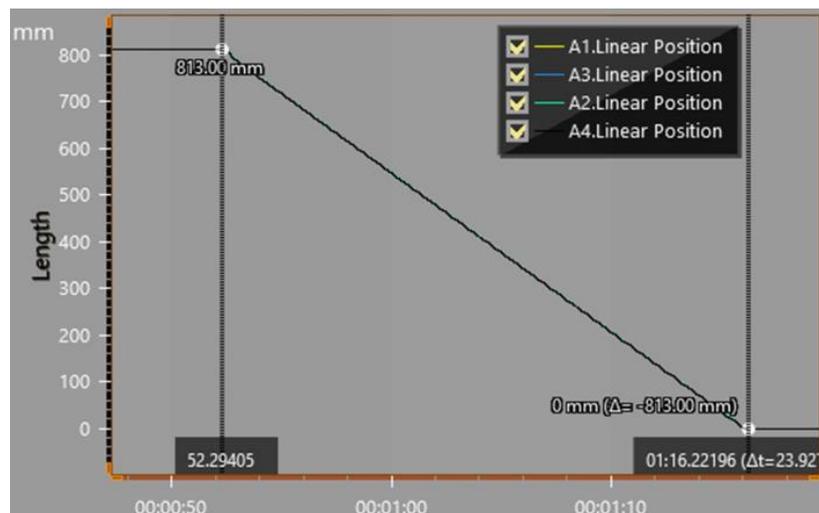
función del tiempo para los cuatro cilindros hidráulicos, durante las fases de elevación y descenso de los contenedores.

**Figura 3.21**

*Gráfica posición lineal (mm) vs tiempo (s)*



(a)

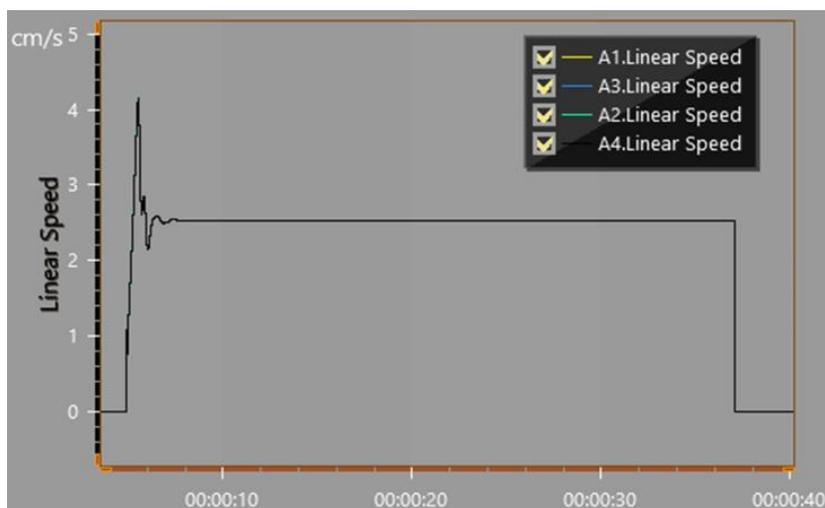
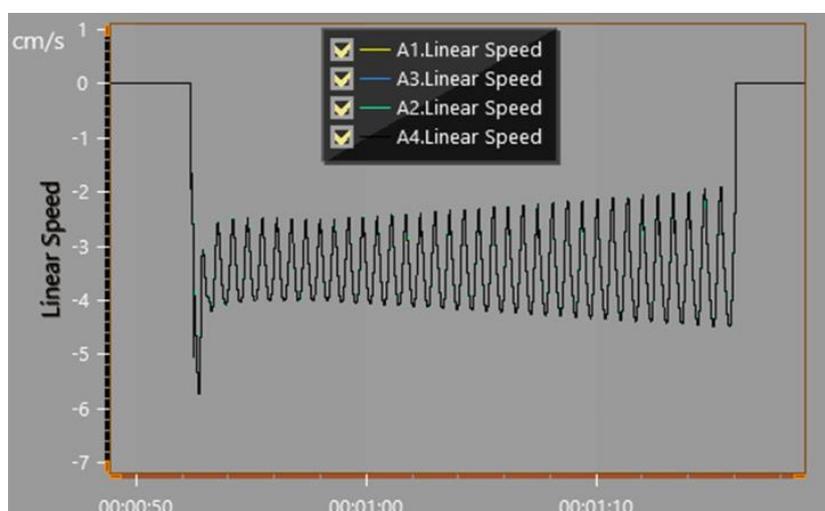


(b)

*Nota.* (a) Durante el descenso del contenedor, (b) Durante el levantamiento del contenedor

**Figura 3.22**

Gráfica velocidad lineal (cm/s) vs tiempo (s)

**(a)****(b)**

*Nota.* (a) Durante el ascenso del contenedor, (b) Durante el descenso del contenedor

En la Figura 3.21 se observa cómo el levantamiento y descenso del contenedor se realizan de manera sincronizada por los cuatro cilindros hidráulicos, incluso cuando dos de ellos soportan cargas distintas. Esto destaca la importancia de emplear válvulas divisoras de caudal para garantizar la uniformidad del movimiento. Además, el tiempo de levantamiento fue de 32 segundos y el de descenso, 23 segundos, ambos inferiores a los tiempos registrados por soluciones comerciales de la misma categoría. La diferencia en los tiempos se atribuye principalmente a la

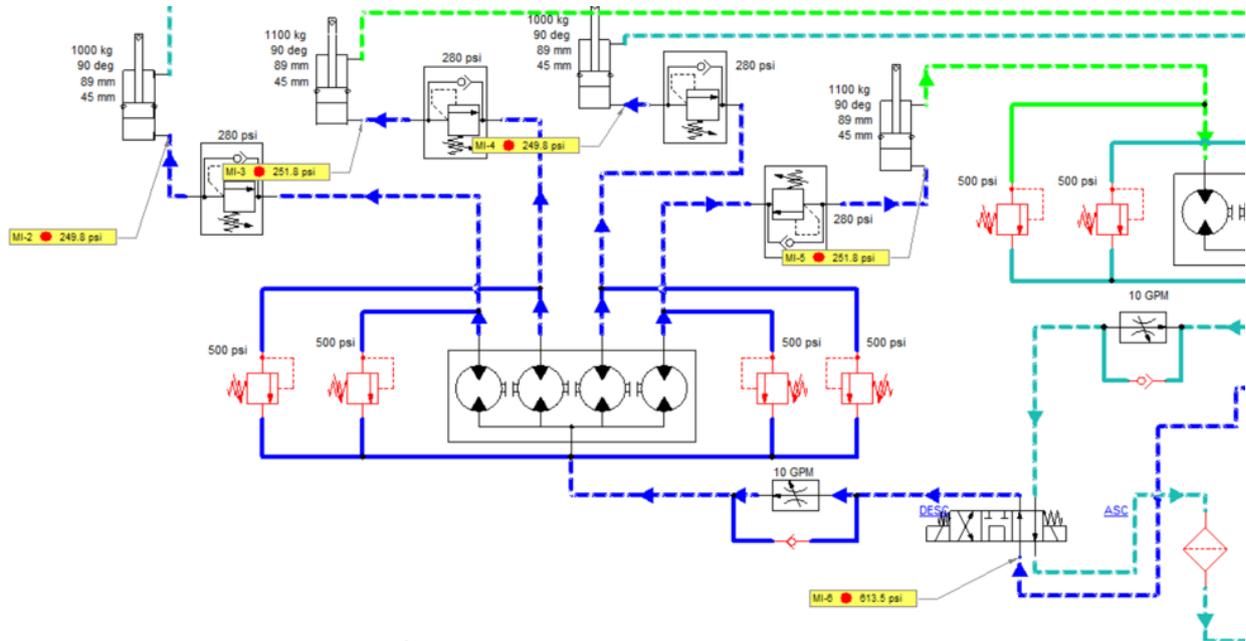
dirección del peso, que favorece la retracción del vástago durante el descenso, reduciendo así la duración de este proceso.

El comportamiento de la velocidad durante el levantamiento, como se muestra en la Figura 3.22a, muestra una respuesta que se estabiliza tras una perturbación inicial, provocada por el flujo suministrado desde la bomba. Este patrón resulta ideal para lograr un levantamiento estable y controlado. Por otro lado, durante el descenso (ver Figura 3.22b), la velocidad no alcanza un valor constante, sino que oscila en un rango de -2 a -4.5 cm/s. Esto indica que, aunque el contenedor desciende de forma continua, la velocidad de descenso no es uniforme, lo que puede afectar ligeramente la estabilidad del movimiento. Sin embargo, la correcta sincronización de los actuadores, junto con el diseño optimizado del soporte hidráulico, garantiza que el descenso se realice de manera segura y sin inconvenientes.

Durante la simulación, se analizó dinámicamente la variación de la presión en las entradas de los cilindros hidráulicos, así como la presión del sistema ubicada en la salida de la bomba. La etiqueta MI-6 representa la presión del sistema, mientras que las demás etiquetas corresponden a las presiones en las entradas de los cilindros hidráulicos, según lo mostrado en la Figura 3.23.

**Figura 3.23**

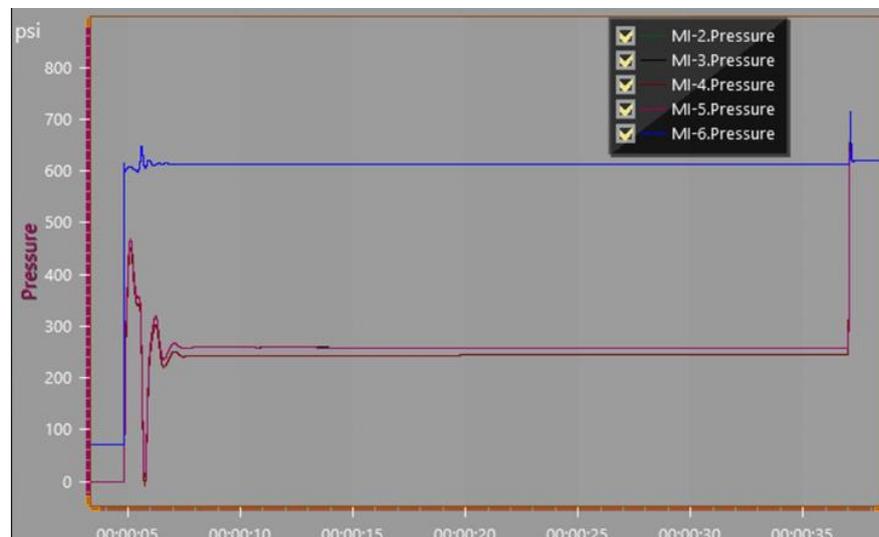
*Etiquetas de las presiones registradas durante la simulación*

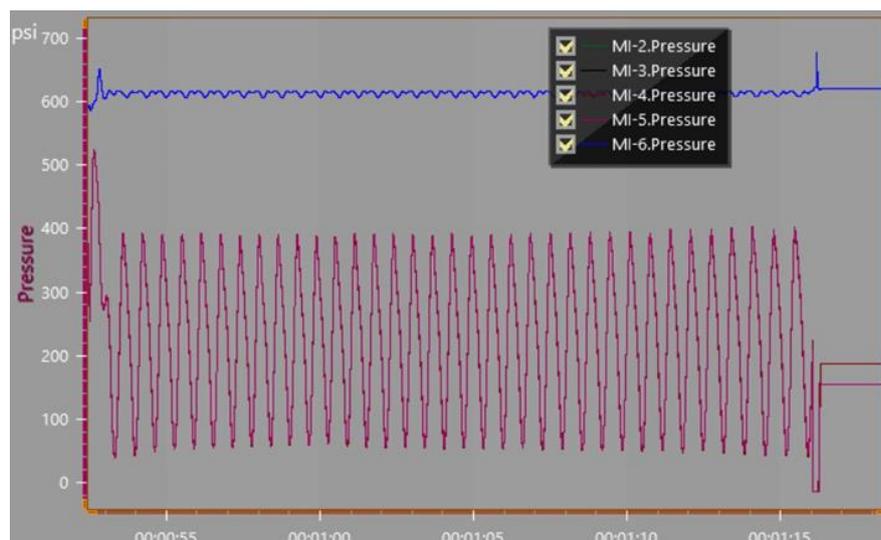


Las presiones mencionadas se registraron en gráficos de presión versus tiempo, correspondientes a las etapas de levantamiento (ver Figura 3.24a) y descenso (ver Figura 3.24b).

**Figura 3.24**

*Gráfica presión (psi) vs tiempo (s)*

**(a)**



(b)

*Nota.* (a) Durante el levantamiento del contenedor, (b) Durante el descenso del contenedor

Durante el levantamiento, la presión del sistema se estabiliza rápidamente en aproximadamente 600 psi, mientras que la presión de entrada de los cuatro cilindros hidráulicos alcanza un valor constante cercano a 250 psi, como se muestra en la Figura 3.26a. En contraste, durante el proceso de descenso (ver Figura 3.26b), la presión de entrada de los cilindros hidráulicos presenta variaciones significativas, fluctuando entre 50 y 400 psi. Estas fluctuaciones, dependiendo de la robustez de los cilindros, pueden impactar en mayor o menor medida su vida útil. No obstante, la presión del sistema permanece estable alrededor de 600 psi durante todo el descenso, sin verse afectada por estas variaciones.

### 3.3 Componente de Control y Monitoreo

En base a las conexiones presentadas previamente en la Figura 2.xx del Capítulo 2, se realizó la asignación de variables para cada entrada y salida del PLC. El tipo de variable asignada dependió del tipo de señal, ya sea analógica o digital, considerando los dispositivos de entrada y salida descritos en el mismo capítulo. Las variables fueron nombradas utilizando el prefijo "I" para las entradas y "O" para las salidas, diferenciándolas de las variables de memoria del sistema. Esta asignación se detalla en la Figura 3.25.

**Figura 3.25**

Asignación de prefijo para variables relacionadas a entradas o salidas físicas del PLC

	Nombre	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visib..
1	Q_ASCENDER	Default tag table	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Q_DESCENDER	Default tag table	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	L_POS1	Default tag table	Int	%IW128	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	L_POS2	Default tag table	Int	%IW130	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	L_POS3	Default tag table	Int	%IW132	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	L_POS4	Default tag table	Int	%IW134	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	BOTON_ASCENDER	Default tag table	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	BOTON_DESCENDER	Default tag table	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

*Nota.* Lista de todas las variables del programa en Apéndice A

Una vez creadas las variables relacionadas a entradas o salidas físicas, se programó en LADDER los distintos bloques funcionales conforme a la lógica del programa desarrollada en el Capítulo 2 e ilustrada en la Figura 2.45.

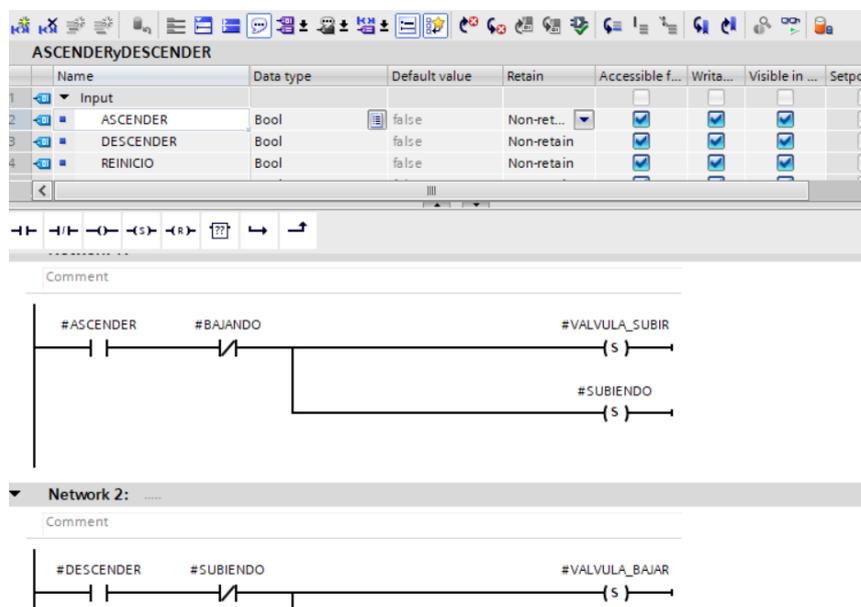
Tras creados los bloques, se interconectaron en el programa principal (*main*) con las variables correspondientes. La integración de estos bloques, junto con líneas de programación adicionales, permitió ejecutar el proceso de elevación del contenedor, garantizando tanto su correcta ejecución como un monitoreo constante. Este monitoreo se visualiza a través del HMI, que presenta una interfaz intuitiva y fácil de usar, además de incluir alarmas que alertan en caso de que el proceso de elevación se esté realizando incorrectamente o se detecte alguna anomalía.

### 3.3.1 Programación

El bloque de programación principal, que da paso para el levantamiento o el descenso del contenedor, es ASCENDER\_Y\_DESCENDER cuyo propósito es energizar o desenergizar las bobinas de la válvula direccional que controla la dirección del flujo de la bomba, de acuerdo con el estado de memorias internas del programa controladas por el operador mediante una de las pantallas del HMI. Parte del código de este bloque de programación se muestra en la Figura 3.26.

**Figura 3.26**

*Parte de la programación del bloque ASCENDER\_Y\_DESCENDER*



*Nota.* Programación completa y lista de variables del bloque en Apéndice A

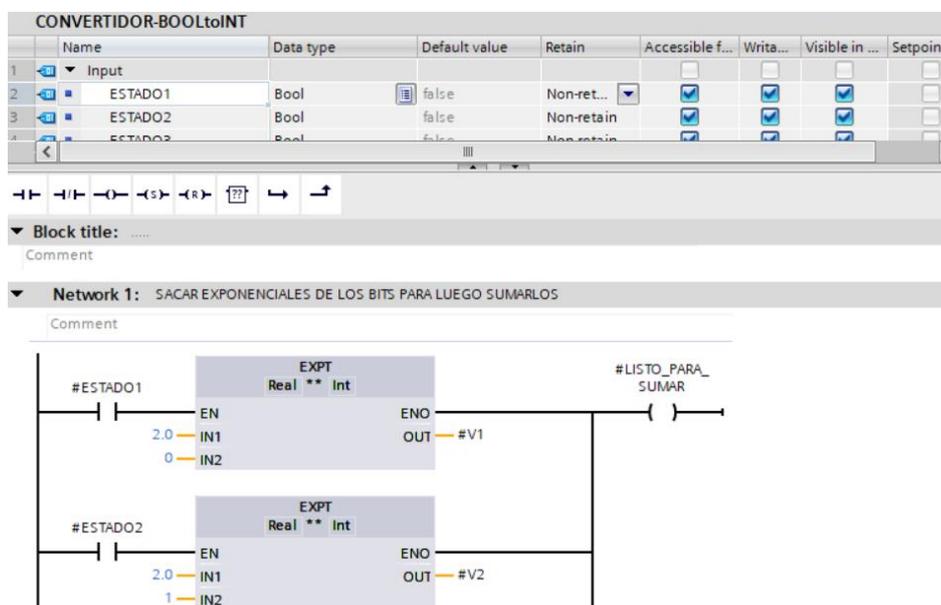
La lógica del programa se basa en estados, ya que el levantamiento se realiza mediante el seguimiento de fases secuenciales. Las transiciones entre estas fases fueron detalladas en las Figuras 2.49 y 2.50. Por esta razón, se diseñó un bloque de programación denominado *LOGICA\_CAMBIO\_ESTADOS*, cuyo propósito es generar una única variable de retorno que indique en qué fase se encuentra el proceso. Esta variable, de tipo *INT*, se calcula a partir de la conversión de un número de 5 bits, donde cada bit corresponde a un estado, y el bit más significativo representa el quinto estado. Así, el número binario 00010, que en formato entero equivale a 2, indica que el proceso se encuentra en el estado 2. Una parte de la programación de este bloque se muestra en la Figura 3.27.



en la medición. Parte de la programación de los bloques de programación de soporte y optimización, anteriormente descritos, se encuentra en la Figura 3.28 y Figura 3.29.

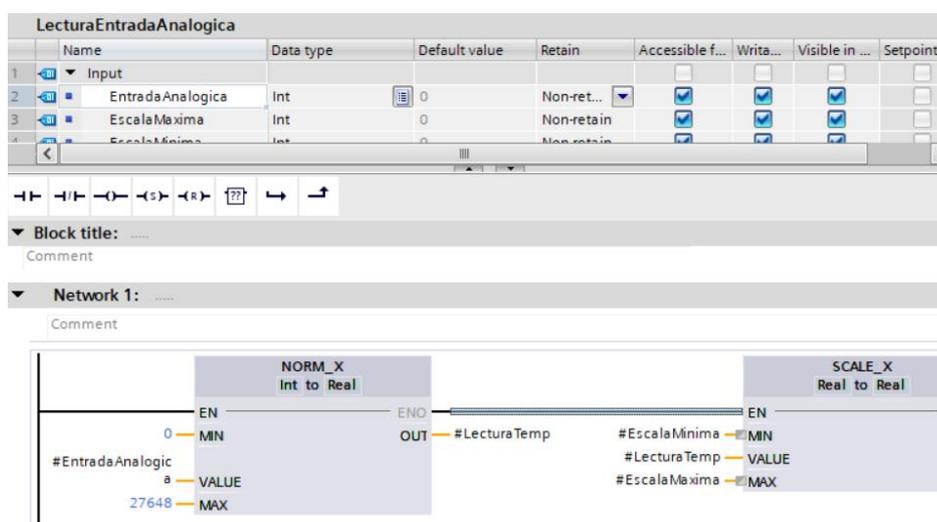
**Figura 3.28**

Parte de la programación del bloque *CONVERTIDOR\_BOOL\_TO\_INT*



**Figura 3.29**

Parte de la programación del bloque *LECTURA\_ENTRADA\_ANALÓGICA*



También, se desarrollaron bloques de programación específicos para garantizar que el proceso de elevación o descenso del contenedor se realice de manera correcta. Estos bloques son *COMPROBAR\_EJES* y *VERIFICAR\_SINCRONIZACIÓN*, los cuales desempeñan un papel clave en la supervisión y seguridad del sistema.

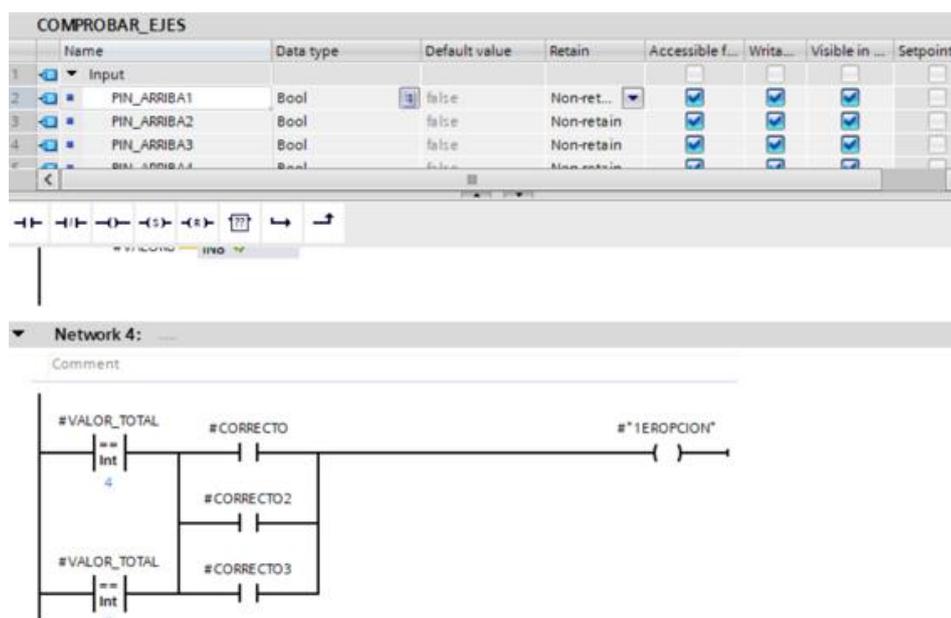
El primer bloque tiene como salida una variable booleana que indica si el estado de los ejes es correcto (valor 1) o incorrecto (valor 0). Para realizar esta verificación, el bloque comprueba que el número de ejes instalados en los soportes hidráulicos sea 0, un múltiplo de 4, y no exceda un máximo de 8. Adicionalmente, si se detectan 4 ejes, se valida que todos sean del mismo tipo, garantizando la uniformidad en el sistema.

El segundo bloque, tiene como salida una variable booleana que indica si existe sincronización entre los 4 cilindros hidráulicos del sistema. Para verificar la sincronización, se compara la mayor extensión del vástago entre los 4 cilindros con la menor y la diferencia tiene que ser menor a 30 mm, si es mayor el valor de la variable es 0.

Parte de la programación de los bloques de programación de verificación del proceso, anteriormente descritos, se encuentra en la Figura 3.30 y Figura 3.31.

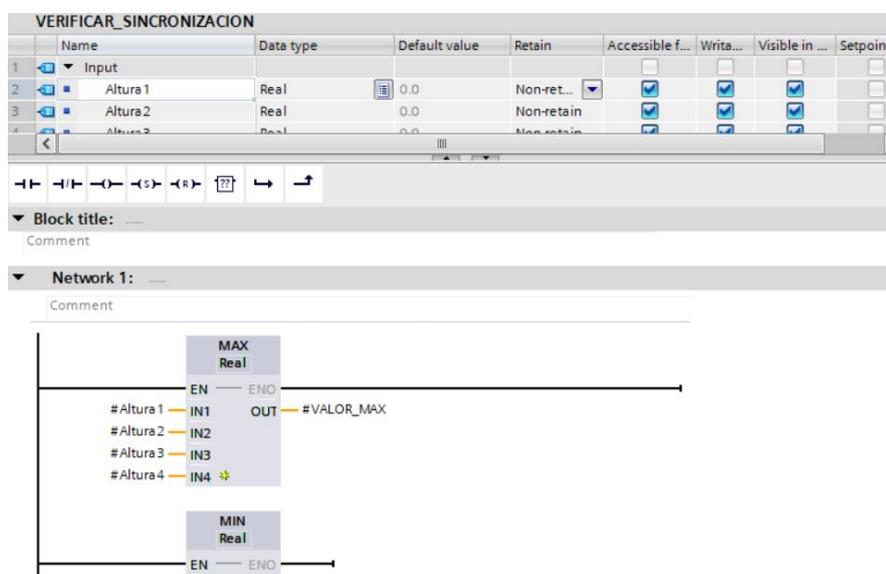
**Figura 3.30**

*Parte de la programación del bloque COMPROBAR\_EJES*



**Figura 3.31**

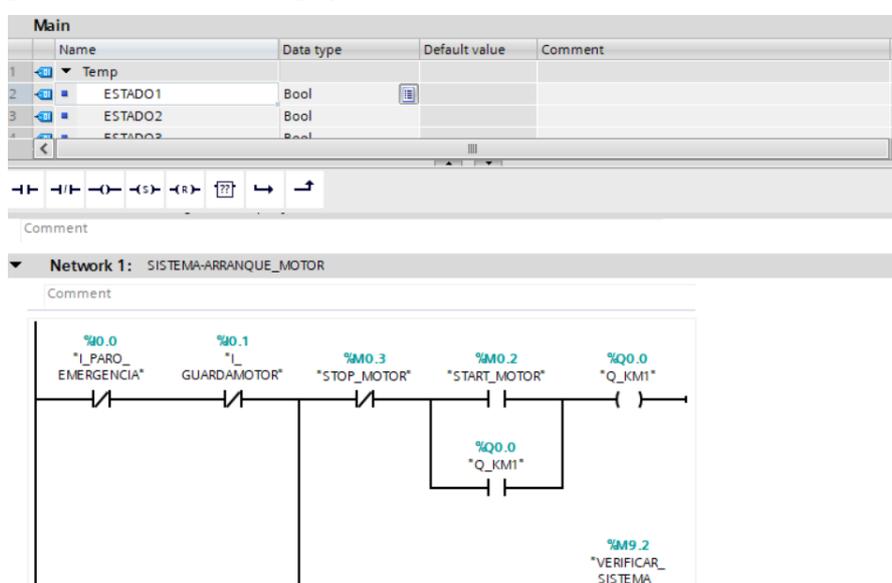
Parte de la programación del bloque *VERIFICAR\_SINCRONIZACION*



Con estos bloques de programación mencionados, se creó el programa principal (*main*) el cual incluye la programación para el encendido y el apagado de la electrobomba, como se observa en la Figura 3.32.

**Figura 3.32**

Programa principal (*main*) - Encendido y apagado de electrobomba



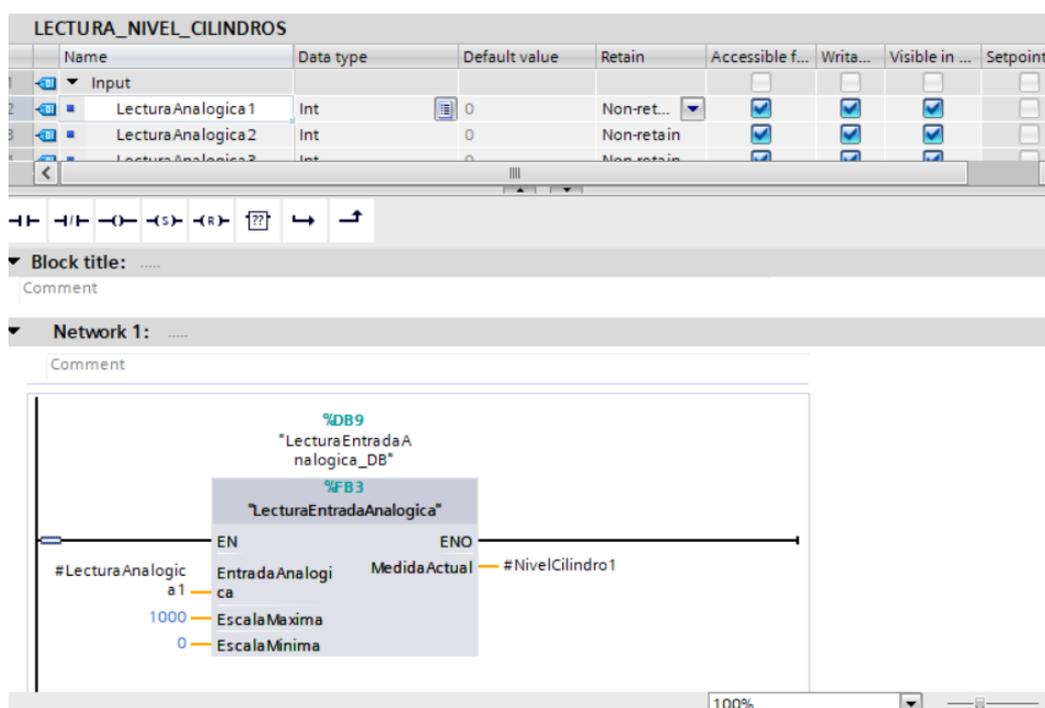
Esta interacción entre los bloques de programación creados y las variables correspondientes a memorias del sistema o entradas y salidas físicas del PLC hizo posible que el

proceso del levantamiento y descenso del contenedor sea eficiente y seguro. Además, se aseguró que si alguna anomalía o emergencia se presenta se detenga el levantamiento o descenso.

Durante la programación del programa principal (*main*), se tuvo la necesidad de crear un bloque de programación LECTURA\_NIVEL\_CILINDROS que simplemente retorna 4 variables de tipo Real, representando la posición del vástago de cada cilindro, véase Figura 3.33 parte de la programación de este bloque.

**Figura 3.33**

Parte de la programación del bloque LECTURA\_NIVEL\_CILINDROS



En el programa principal (*main*), se incluyeron líneas de código para gestionar una variable booleana que indique si es necesario revisar el aseguramiento de los acoples de los cilindros hidráulicos, véase Figura 3.34. Si los acoples de los 4 cilindros no están uniformemente asegurados, la variable toma el valor 1; en caso contrario, su valor es 0. Esto significa que, por ejemplo, será necesario revisar los acoples si dos de ellos están asegurados y los otros dos no. Sin embargo, no se requerirá revisión si todos los acoples están asegurados o si ninguno lo está, ya que en ambos casos la condición es uniforme.

Figura 3.34

Programa principal (*main*) – Aseguramiento de Acoples

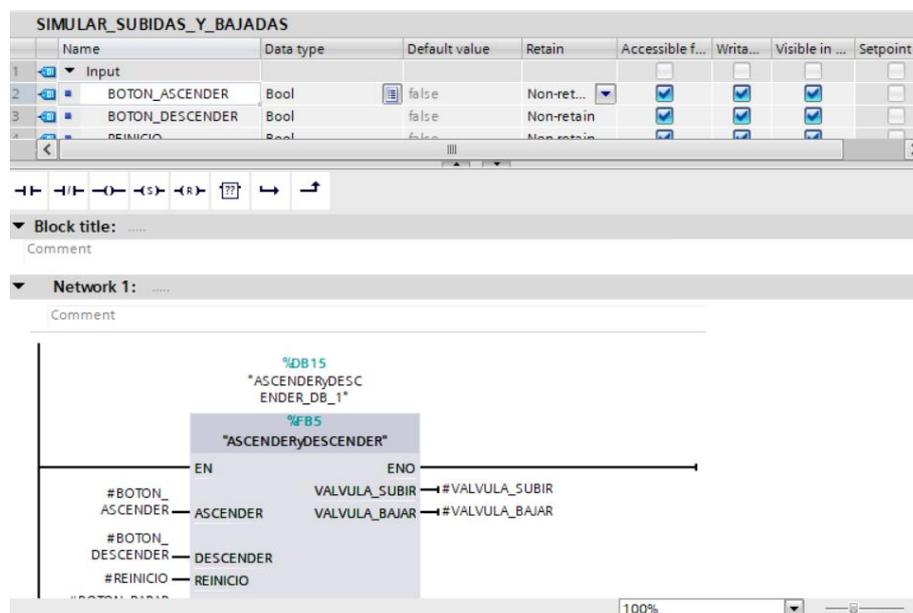


Por último, antes de finalizar la programación del programa principal (*main*), cuya estructura y variables se detallan en el Apéndice A, se desarrolló un bloque de programación opcional denominado `SIMULAR_SUBIDAS_Y_BAJADAS`. Este bloque, cuando está activado, permite simular el movimiento de subida y bajada de los 4 cilindros hidráulicos mediante la interacción con botones ubicados en una pantalla del HMI dedicada al control de estas operaciones.

La activación de este bloque en el programa principal (*main*) desactiva temporalmente las entradas analógicas relacionadas con las posiciones de los vástagos de los cilindros hidráulicos, evitando interferencias con otros bloques y líneas de código del programa. Una parte de la programación de este bloque se presenta en la Figura 3.35.

**Figura 3.35**

Parte de la programación del bloque opcional *SIMULAR\_SUBIDAS\_Y\_BAJADAS*

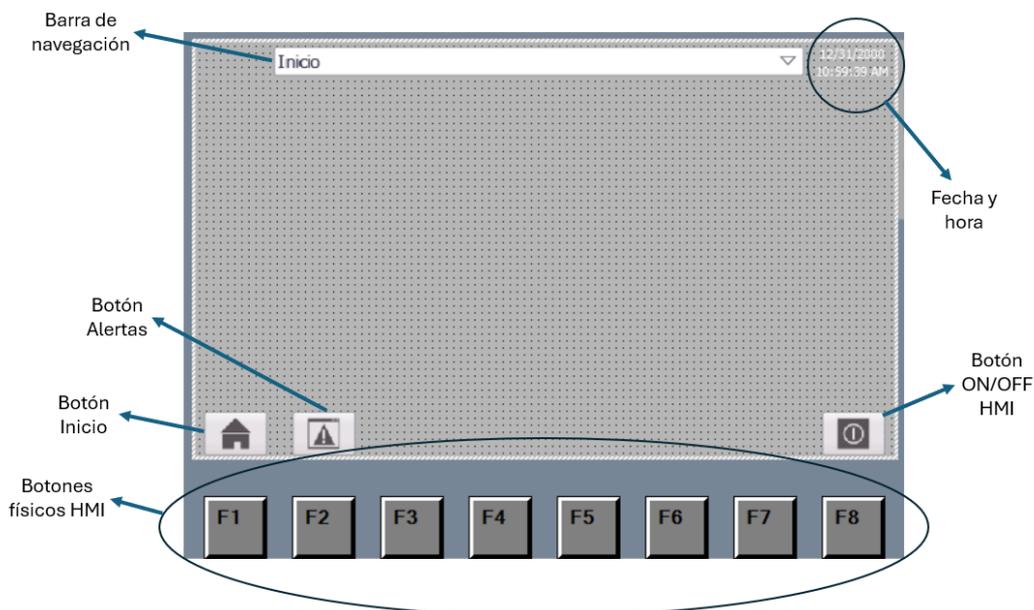


*Nota.* Programación completa y lista de variables del bloque en Apéndice A.

### 3.3.2 HMI y Sistema de Alarmas

Para controlar y monitorear de manera constante el funcionamiento del elevador hidráulico, se utilizó un HMI diseñado con pantallas intuitivas e interactivas, adaptadas al proceso de levantamiento y descenso. Antes de desarrollar las pantallas y definir su cantidad, se personalizó la plantilla base, incorporando elementos clave para la navegación y presentación de información.

La plantilla final, junto con sus elementos, se ilustra en la Figura 3.36. Además, sus características y funciones se describen detalladamente en la Tabla 3.18. Es importante destacar que los botones físicos del HMI no forman parte de la plantilla base; sin embargo, están siempre disponibles en todas las pantallas debido a que son una característica inherente del dispositivo.

**Figura 3.36***Plantilla base y sus elementos***Tabla 3.18***Función y características de los elementos de la plantilla base*

<b>Elemento</b>	<b>Tipo de Elemento</b>	<b>Función</b>
<b>Barra de navegación</b>	Barra de navegación	Proporciona una lista con los nombres de las pantallas disponibles. Al seleccionar cualquiera de estos nombres, el sistema cambia automáticamente a la pantalla correspondiente.
<b>Botón alertas</b>	Botón	Abre la ventana del sistema de alertas al ser presionado.
<b>Botón Inicio</b>	Botón	Cambia a la pantalla de inicio cuando es presionado.
<b>Botón ON/OFF HMI</b>	Botón	Apaga la pantalla del HMI al ser presionado.
<b>Botones físicos HMI</b>	Teclas físicas	Cada tecla física, al ser presionada, acciona el botón ubicado directamente encima de ella.
<b>Fecha y hora</b>	Texto	Muestra la fecha y la hora en tiempo real.

Tras crear la plantilla base, se procedió a determinar el número de pantallas necesarias para que el operador pueda gestionar adecuadamente el elevador hidráulico. El diseño consideró dividir el proceso de elevación en dos aspectos clave: el primero, enfocado en el control y monitoreo de

la unidad de potencia hidráulica, elemento crucial para satisfacer las demandas de presión y flujo requeridas por el sistema; y el segundo, orientado al control y monitoreo de los cilindros hidráulicos, responsables directos del levantamiento y descenso del contenedor.

Con base en esta estructura, se desarrollaron dos pantallas específicas: *Control y Monitoreo de Unidad de Potencia* y *Control y Monitoreo de Elevación*, que cubren cada uno de estos aspectos. Además, se incluyó una pantalla *Inicio* que facilita al operador el acceso a cualquiera de las dos pantallas mencionadas. Esta pantalla *Inicio* junto con sus elementos se muestran en la Figura 3.37, y sus características se describen en la Tabla 3.19.

**Figura 3.37**

*Pantalla Inicio y sus elementos*



**Tabla 3.19**

*Características de los elementos de la pantalla Inicio*

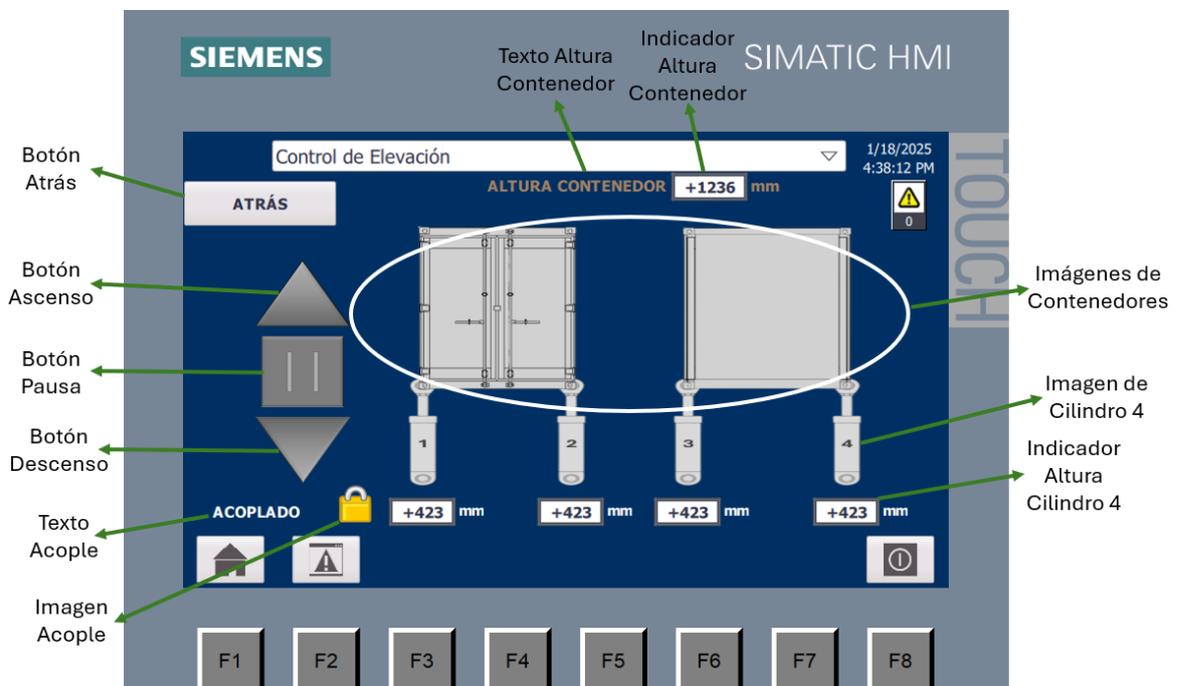
Elemento	Tipo de Elemento	Eventos	Animaciones
Botón Control Elevación	Botón	Soltar: Al pulsar y liberar el botón, el sistema cambia automáticamente	X

			a la pantalla <i>Control y Monitoreo de Elevación</i> .	
Botón Control de Unidad de Potencia	Botón	Soltar: Al pulsar y liberar el botón, el sistema cambia automáticamente a la pantalla de <i>Control y Monitoreo de la Unidad de Potencia</i> .		X
Imagen Elevación de Contenedor	Imagen		Muestra una animación de la entrada del camión, el levantamiento del contenedor y la salida del camión. Para ello se utilizó las animaciones: Movimiento Vertical, Horizontal y Visibilidad.	X

Así mismo, la pantalla *Control y Monitoreo de Elevación* con sus elementos se muestran en la Figura 3.38 y sus características se detallan en la Tabla 3.20.

**Figura 3.38**

*Pantalla Control y Monitoreo de Elevación y sus elementos*



**Tabla 3.20**

*Características de los elementos de la pantalla Control y Monitoreo de Elevación*

<b>Elemento</b>	<b>Tipo de Elemento</b>	<b>Eventos/Descripción</b>	<b>Animaciones</b>
Botón Atrás	Botón	<b>Soltar:</b> Al pulsar y liberar el botón, el sistema cambia automáticamente a la pantalla <i>Inicio</i> .	X
Botón Ascenso	Botón	<b>Pulsar:</b> Al pulsar el botón, la variable booleana de memoria <code>BOTON_ASCENDER</code> , responsable de energizar la bobina de la válvula direccional que habilita la elevación, toma el valor de 1. <b>Soltar:</b> Al liberar el botón, dicha variable regresa automáticamente al valor de 0.	El color de la imagen del botón cambia a VERDE, si el valor de la variable <code>BOTON_ASCENDER</code> es 1. Y si es 0, el color cambia a GRIS.
Botón Pausa	Botón	<b>Pulsar:</b> Al pulsar el botón, la variable booleana de memoria <code>BOTON_PARAR</code> , responsable de desenergizar las bobinas de la válvula direccional, toma el valor de 1. <b>Soltar:</b> Al liberar el botón, dicha variable regresa automáticamente al valor de 0.	El color de la imagen del botón cambia a VERDE, si el valor de la variable <code>BOTON_PARAR</code> es 1. Y si es 0, el color cambia a GRIS.
Botón Descenso	Botón	<b>Pulsar:</b> Al pulsar el botón, la variable booleana de memoria <code>BOTON_DESCENDER</code> , responsable de energizar la bobina de la válvula direccional que habilita el descenso, toma el valor de 1.	El color de la imagen del botón cambia a VERDE, si el valor de la variable <code>BOTON_DESCENDER</code> es 1. Y si es 0, el color cambia a GRIS.

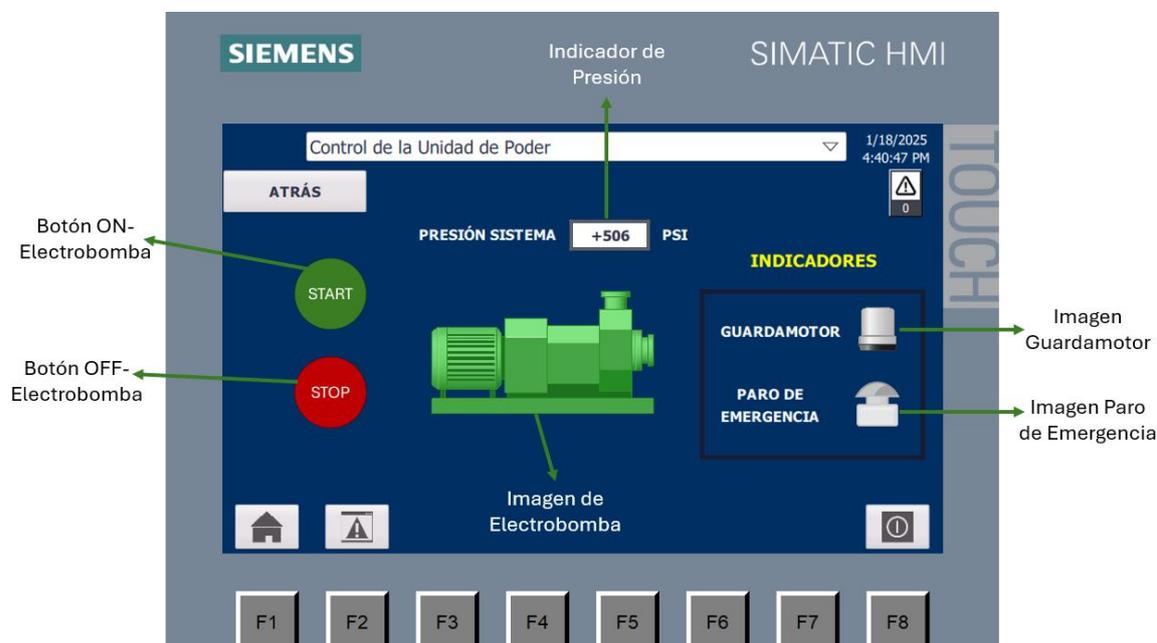
		<b>Soltar:</b> Al liberar el botón, dicha variable regresa automáticamente al valor de 0.	
Texto Acople	Texto	X	<b>Visibilidad:</b> Cuando todos los acoples estén asegurados, el texto dice “ACOPLADO” y cuando no estén asegurados todos, el texto dice: “DESACOPLADO”
Imagen Acople	Imagen	X	<b>Visibilidad:</b> Cuando todos los acoples estén asegurados, la imagen es de un candado cerrado y cuando no estén asegurados todos, la imagen es un candado abierto.
Indicadores Altura Cilindro 1, 2, 3 y 4	Indicador	Muestra el valor de la variable Int_Nivel_Cilindro1, ..., Int_Nivel_Cilindro 4 según corresponda al número de cilindro ubicado encima.	X
Imágenes de Cilindro 1, 2, 3 y 4	Imagen	X	<b>Visibilidad:</b> Cada cilindro cuenta con tres imágenes que se muestran dinámicamente según el estado de su vástago. Por ejemplo, si la variable Int_Nivel_Cilindro1 está en un rango de 0 a 113, inclusive, se muestra la

			imagen del cilindro1 con su vástago completamente retraído. Si el valor está entre 114 y 699, se presenta la imagen del cilindro1 con el vástago parcialmente extendido. Finalmente, si el rango está entre 700 y 813, se visualiza la imagen del cilindro1 con el vástago totalmente extendido.
Imágenes de Contenedores	Imagen	X	<b>Visibilidad:</b> Tres imágenes representando distintas alturas del contenedor se muestran dinámicamente, siguiendo la misma lógica utilizada para las imágenes de los cilindros. Esto crea la apariencia de un movimiento de elevación sincronizado.
Indicador de Altura Contenedor	Indicador	Muestra el valor de la variable tipo Int ALTURA_CONTENEDOR_PROM.	X
Texto de Contenedor	Texto		X El texto muestra “Altura de Acople” si es que no todos los acoples están asegurados. Si están asegurados, el texto muestra “Altura de Contenedor”

Luego, la pantalla *Control y Monitoreo de la Unidad de Potencia* con sus elementos se muestran en la Figura 3.39 y sus características se detallan en la Tabla 3.21.

**Figura 3.39**

*Pantalla Control y Monitoreo de la Unidad de Potencia y sus elementos*



**Tabla 3.21**

*Características de los elementos de la pantalla Control y Monitoreo de la Unidad de Potencia*

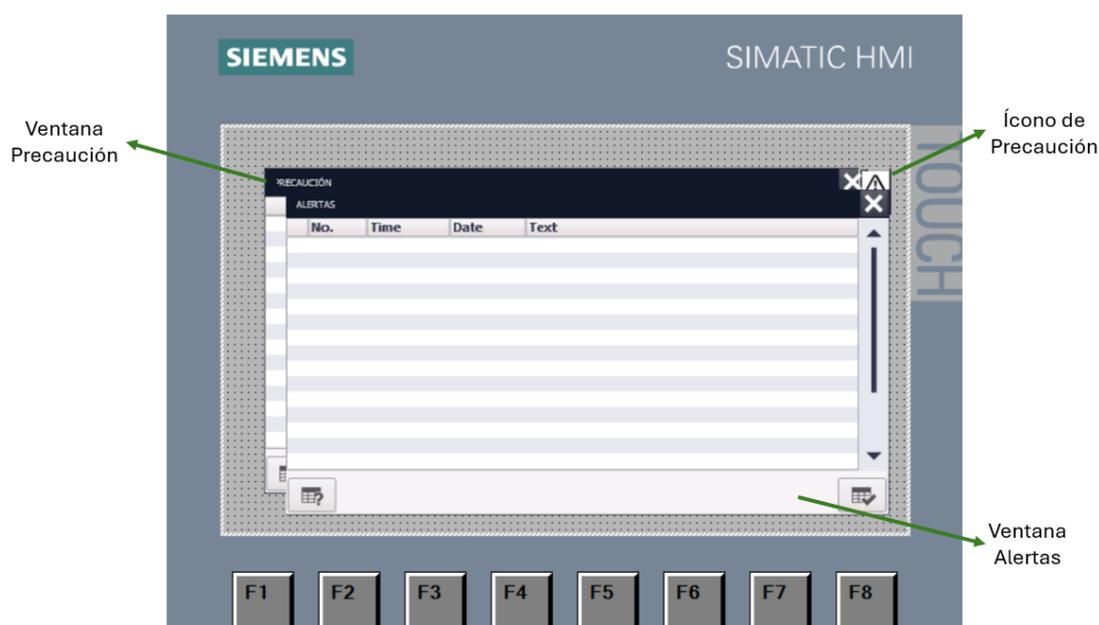
Elemento	Tipo de Elemento	Eventos/Descripción	Animaciones
Botón ON-Electrobomba	Botón	Pulsar: Al pulsar el botón, la variable booleana de memoria <code>START_MOTOR</code> , responsable de energizar la bobina del contactor que conmuta para energizar el motor, toma el valor de 1. Soltar: Al liberar el botón, dicha variable regresa automáticamente al valor de 0.	El color de la imagen del botón cambia a VERDE CLARO, si el valor de la variable <code>START_MOTOR</code> es 1. Y si es 0, el color cambia a VERDE OSCURO.
Botón OFF-Electrobomba	Botón	Pulsar: Al pulsar el botón, la variable booleana de memoria	El color de la imagen del botón cambia a ROJO

		STOP_MOTOR, responsable de desenergizar la bobina del contactor que conmuta para energizar el motor, toma el valor de 1. Soltar: Al liberar el botón, dicha variable regresa automáticamente al valor de 0.	CLARO, si el valor de la variable STOP_MOTOR es 1. Y si es 0, el color cambia a ROJO OSCURO.
Imagen de la Electroboomba	Imagen	X	<b>Visibilidad:</b> El color de la imagen del motor cambia a VERDE, si el valor de la salida física O_KM1 es 1, que es la bobina del contactor. Y si es 0, el color cambia a ROJO.
Imagen de Paro de Emergencia	Imagen	X	<b>Visibilidad:</b> Cuando la entrada I_PARO_EMERGENCIA tiene el valor de 1, se muestra de color la imagen de Paro de Emergencia. Si es valor 0, se muestra sin color dicha imagen.
Imagen Guardamotor	Imagen	X	<b>Visibilidad:</b> Cuando la entrada I_GUARDAMOTOR tiene el valor de 1, se muestra de color la imagen de Alerta. Si es valor 0, se muestra sin color dicha imagen.
Indicador de Presión	Indicador	Muestra el valor de la variable tipo Int PRESION_SIST.	X

Una vez desarrolladas las pantallas y sus elementos, que brindan al operador la capacidad de controlar y monitorear el sistema hidráulico de manera interactiva, se implementó el sistema de alarmas. Este sistema se estructuró en dos categorías: Alarmas Discretas y Alarmas Analógicas. Para su integración, se reutilizaron dos ventanas predefinidas en el *Global Screen*, asignándoles los nombres "Alertas" y "Precaución", según el nivel de gravedad de cada alarma. Adicionalmente, en la misma pantalla del Global Screen, se añadió un ícono que permite acceder directamente a la ventana de "Precaución". Todos estos elementos se ilustran en la Figura 3.40.

**Figura 3.40**

*Pantalla Global Screen y sus elementos*



Por otra parte, la determinación de si una alarma se clasifica como grave (error), visualizada en la ventana "Alertas", se encuentra representada en la Figura 3.41 y Figura 3.42. Estas figuras también detallan el tipo de alarma, especificando si corresponde a una alarma analógica o discreta.

**Figura 3.41***Alarmas Discretas del Sistema de Alarmas*

ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Trigge..	Trigger address
1	Discrete_alarm_1	FALLA EN EL GUARDAMOTOR. REVISAI	Errors	HMI_Tag_1	8	%DB1.DBX0.0
2	Discrete_alarm_2	PARO DE EMERGENCIA ACTIVADO. DE	Errors	HMI_Tag_1	9	%DB1.DBX0.1
3	Discrete_alarm_3	DESINCRONIZACIÓN EN LOS CILINDRO	Warnings	HMI_Tag_1	10	%DB1.DBX0.2
4	Discrete_alarm_4	INCORRECTA PUESTA DE EJES. REVISAR	Warnings	HMI_Tag_1	11	%DB1.DBX0.3
5	Discrete_alarm_5	INCOSISTENCIA EN EL ASEGURAMEN	Warnings	HMI_Tag_1	12	%DB1.DBX0.4
<Add new>						

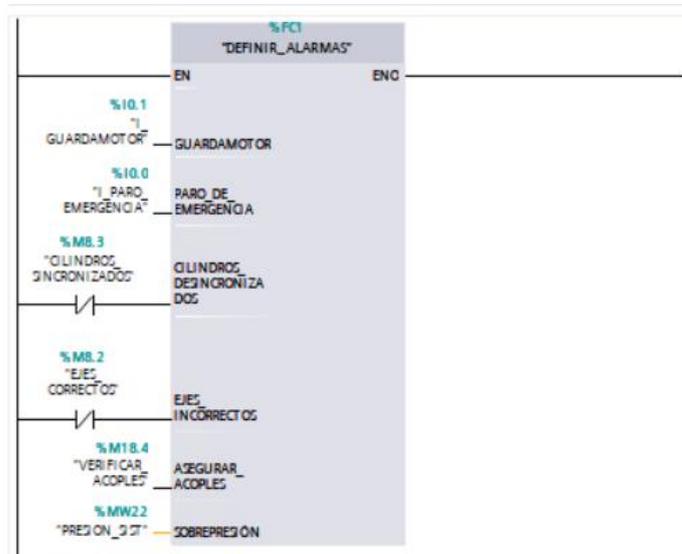
**Figura 3.42***Alarmas Analógicas del Sistema de Alarmas*

ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Limit	Limit mode
1	Analog_alarm_1	SOBREPRESIÓN EN EL SISTEMA. BAJA	Errors	PRESION_SIST	800	Higher
2	Analog_alarm_2	BAJA PRESIÓN EN EL SISTEMA. SUBIR	Errors	PRESION_SIST	450	Lower
<Add new>						

Por último, para vincular las variables del PLC con las correspondientes del HMI, se desarrolló un bloque de programación denominado DEFINIR\_ALARMAS, el cual fue integrado al programa principal (main), tal como se ilustra en la Figura 3.43.

**Figura 3.43**

Vinculación de las variables del PLC a las variables del Sistema de Alarmas



*Nota.* Programación completa y lista de variables del bloque en Anexos B.

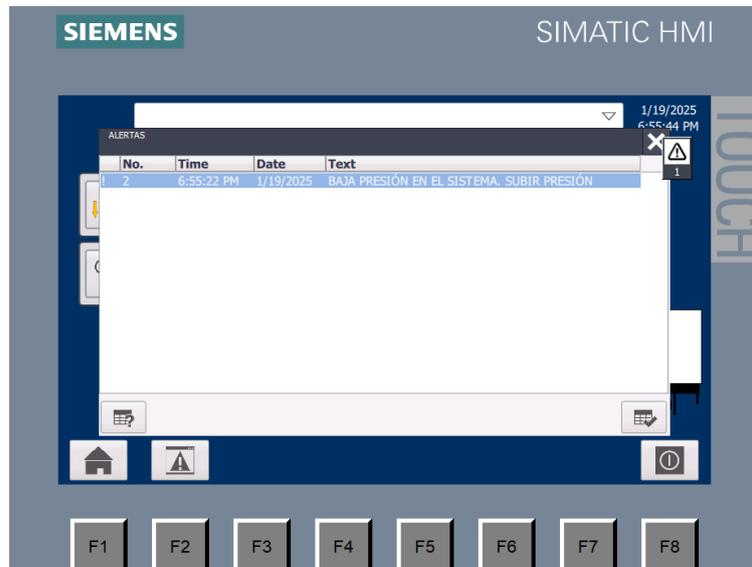
### 3.3.3 Simulación y validación del programa

Para validar el programa, se llevó a cabo una simulación utilizando el software PLCSIM, el cual actúa como sustituto del PLC físico. Este entorno permite cargar el programa desarrollado y ajustar manualmente los valores de entrada del PLC. De esta manera, se simuló el proceso completo de elevación y descenso del contenedor, verificando el funcionamiento y la sincronización de los componentes.

Una vez completadas las conexiones hidráulicas y eléctricas correspondientes, se enciende el HMI. Inicialmente, la pantalla *Inicio* muestra la ventana de alertas, ya que hay una baja presión en el sistema, como se ilustra en la Figura 3.44.

**Figura 3.44**

*Inicio del programa – Baja presión del sistema*



Para eliminar esta alerta, es necesario incrementar la presión del sistema. Esto se consigue encendiendo la electrobomba y activando la válvula direccional, gracias a su configuración en tándem en la posición central. Una vez realizado este paso, se cerró la ventana de alertas y se accedió a la pantalla de "Control y Monitoreo de la Unidad de Potencia" para activar la electrobomba, iniciando la fase 1, como se muestra en la Figura 3.45.

**Figura 3.45**

*Encendido de la electrobomba – Fase 1*



Luego, se regresó a la pantalla *Inicio* para dirigirse a la pantalla *Control y Monitoreo de Elevación*. Para entrar a la fase 2, comienzo del proceso de levantamiento, esté acoplado el contenedor o recién se busca acoplar, el estado de las entradas del PLC debe estar como se muestra en la Figura 3.46.

**Figura 3.46**

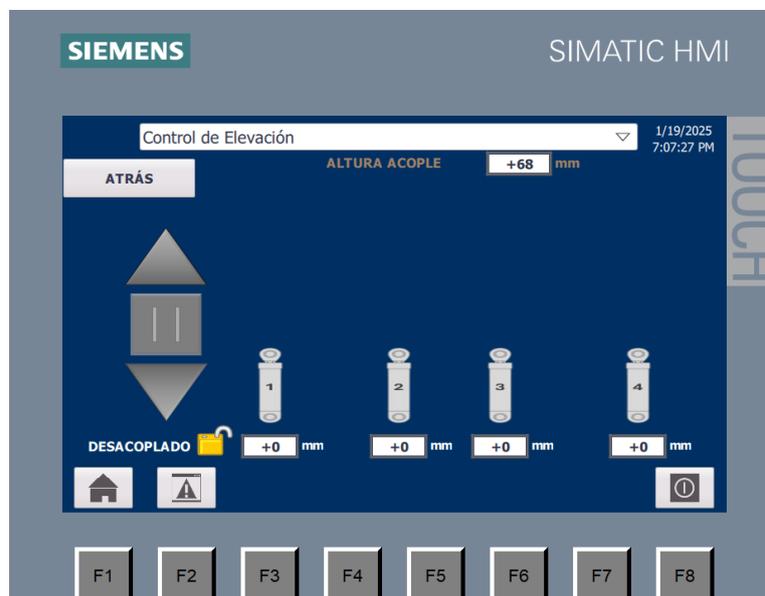
*Estado de entradas del PLC – Fase 2*

<input type="checkbox"/>	"I_PRESION_SIST":F %IW64:P	DEC+/-	16500	0	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ARRIBA1":P %IO.2:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ARRIBA2":P %IO.6:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ARRIBA3":P %I1.2:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ARRIB... %I8.0:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ABAJO1":P %IO.3:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ABAJO2":P %IO.7:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ABAJO3":P %I1.3:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ABAJO4":P %I8.1:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_SEGURIDA... %IO.4:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_SEGURIDA... %I1.0:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_SEGURIDA... %I1.4:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_SEGURIDA... %I8.2:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_ACOUPLE_ASEG... %IO.5:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_ACOUPLE_ASEG... %I1.1:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_ACOUPLE_ASEG... %I1.5:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_ACOUPLE_ASEG... %I8.3:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PARO_EMERGE... %IO.0:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_GUARDAMOT... %IO.1:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE

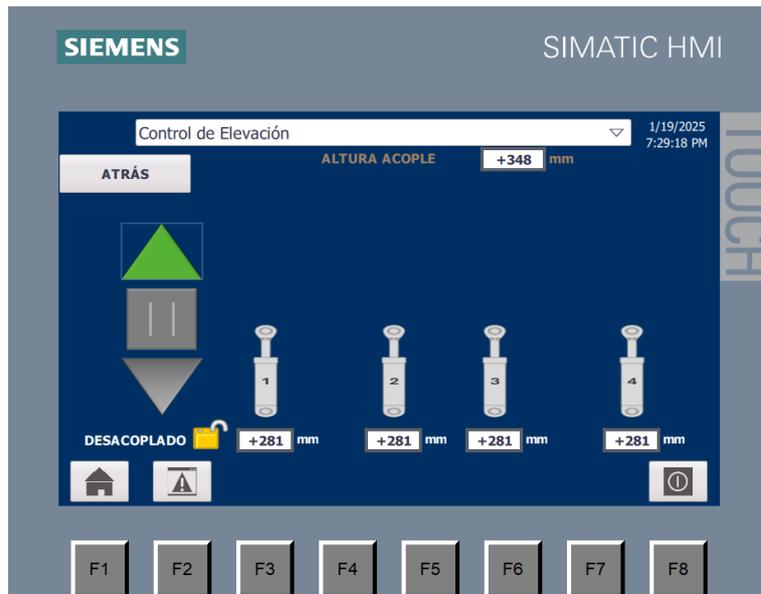
Teniendo este estado, se realiza la elevación de la camisa en la primera etapa de elevación, como se observa en la Figura 3.47.

**Figura 3.47**

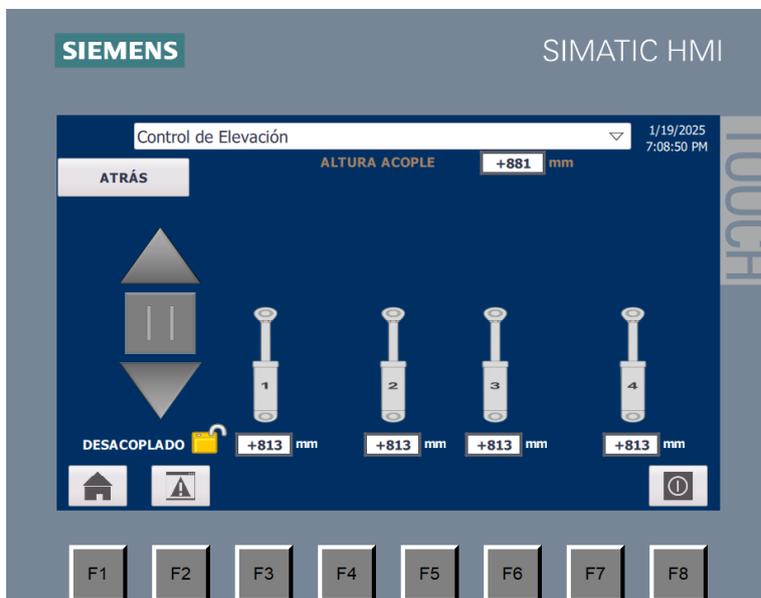
*Elevación de la camisa, primera etapa de elevación – Fase 2*



(a)



(b)



(c)

Una vez se haya extendido completamente el vástago, se coloca los ejes de soporte de la camisa entrando a la Fase 3. En esta fase, el estado de las entradas del PLC se muestra en la Figura 3.48.

**Figura 3.48**

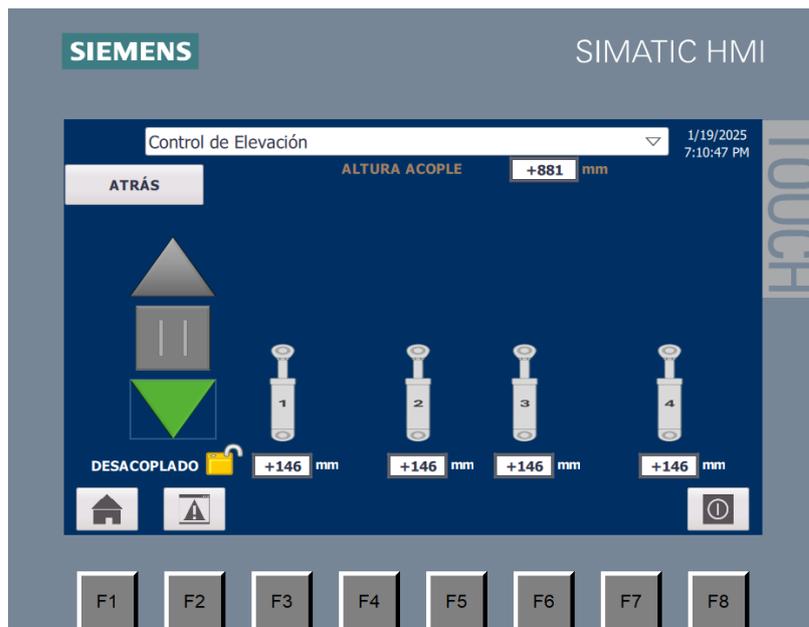
*Estado de entradas del PLC – Fase 3*

<input type="checkbox"/>	"L_PRESION_SIST":F	%IW64:P	DEC+/-	16500		0	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ARRIBA1":P	%IO.2:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ARRIBA2":P	%IO.6:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ARRIBA3":P	%I1.2:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ARRIBA4":P	%I8.0:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ABAJO1":P	%IO.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ABAJO2":P	%IO.7:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ABAJO3":P	%I1.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ABAJO4":P	%I8.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_SEGURIDA...	%IO.4:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_SEGURIDA...	%I1.0:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_SEGURIDA...	%I1.4:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_SEGURI...	%I8.2:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_ACOUPLE_ASEG...	%IO.5:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_ACOUPLE_ASEG...	%I1.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_ACOUPLE_ASEG...	%I1.5:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_ACOUPLE_ASEG...	%I8.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PARO_EMERGE...	%IO.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_GUARDAMOT...	%IO.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"Q_ASCENDER"	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"Q_DESCENDER"	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"Q_KM1"	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>

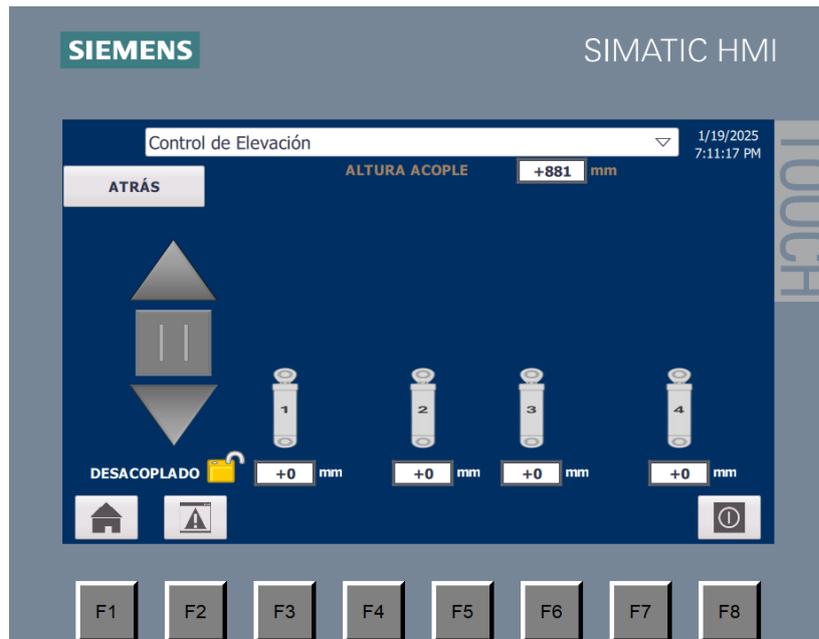
Teniendo este estado, se procede a descender los cilindros, como se observa en la Figura 3.49 para entrar a la fase 4 e iniciar la segunda etapa de elevación, en la fase 5.

**Figura 3.49**

*Descenso de los cilindros – Fase 3*



(a)



(b)

El operador, remueve los ejes ubicados en la parte superior de la camisa, cambiando el estado de las entradas del PLC como se muestra en la Figura 3.50, entrando a la fase 4.

**Figura 3.50**

*Estado de entradas del PLC – Fase 4*

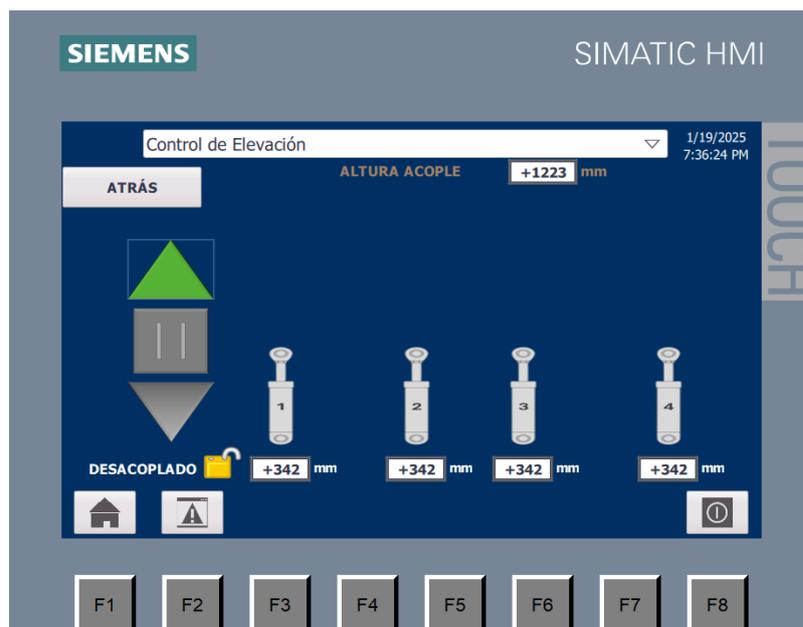
<input type="checkbox"/>	*I_PRESION_515T*:F	%IW64:P	DEC+/-	16500		0	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_ARRIBA1*:P	%IO.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_ARRIBA2*:P	%IO.6:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_ARRIBA3*:P	%I1.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_ARRIB...	%I8.0:P	Bool	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_ABAJO1*:P	%IO.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_ABAJO2*:P	%IO.7:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_ABAJO3*:P	%I1.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_ABAJO4*:P	%I8.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_SEGURIDA...	%IO.4:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_SEGURIDA...	%I1.0:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_SEGURIDA...	%I1.4:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PIN_SEGURIDA...	%I8.2:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_ACOPLÉ_ASEG...	%IO.5:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_ACOPLÉ_ASEG...	%I1.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_ACOPLÉ_ASEG...	%I1.5:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_ACOPLÉ_ASEG...	%I8.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_PARO_EMERGE...	%IO.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*I_GUARDAMOT...	%IO.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*Q_ASCENDER*	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*Q_DESCENDER*	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*Q_KM1*	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Para luego, ingresar los ejes en la parte inferior de la camisa, cambiando el estado de las entradas del PLC como se observa en la Figura 3.51, entrando a la fase 5.

**Figura 3.51***Estado de entradas del PLC – Fase 5*

<input type="checkbox"/>	"L_PRESION_SIST":F	%IW64:P	DEC+/-	16500		0	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ARRIBA1":P	%IO.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ARRIBA2":P	%IO.6:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ARRIBA3":P	%I1.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ARRIBA4":P	%I8.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ABAJO1":P	%IO.3:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ABAJO2":P	%IO.7:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ABAJO3":P	%I1.3:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_ABAJO...":P	%I8.1:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_SEGURIDA...":P	%IO.4:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_SEGURIDA...":P	%I1.0:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_SEGURIDA...":P	%I1.4:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PIN_SEGURIDA...":P	%I8.2:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_ACOUPLE_ASEG...":P	%IO.5:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_ACOUPLE_ASEG...":P	%I1.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_ACOUPLE_ASEG...":P	%I1.5:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_ACOUPLE_ASEG...":P	%I8.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_PARO_EMERGE...":P	%IO.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"I_GUARDAMOT...":P	%IO.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"Q_ASCENDER"	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"Q_DESCENDER"	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"Q_KM1"	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE

Una vez, en la fase 5, se puede iniciar la segunda etapa de elevación como se muestra en la Figura 3.52.

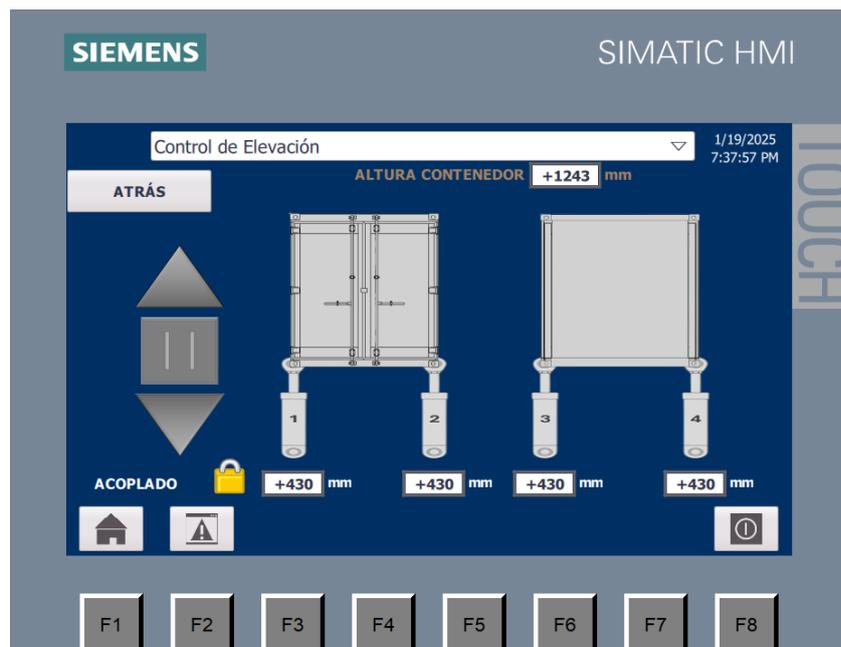
**Figura 3.52***Segunda etapa de elevación – Fase 5*

Llegando a una altura aproximada 1223 mm se puede acoplar al contenedor, una vez asegurado los acoples el estado de las entradas del PLC se debería observar como en la Figura 3.53.

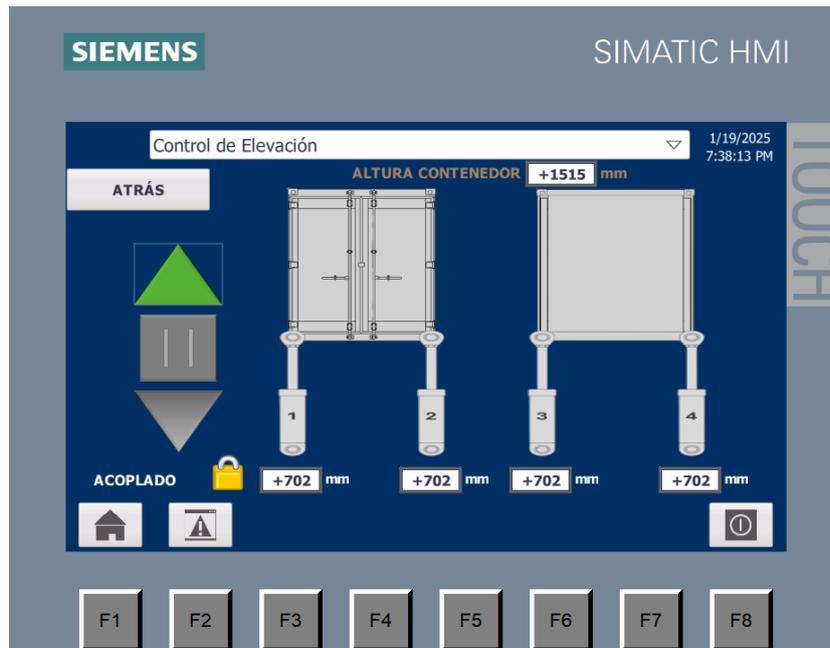
**Figura 3.53***Aseguramiento de acoples – Fase 5*

<input type="checkbox"/>	"L_PRESION_SIST":F %IW64:P	DEC+/-	16500		0	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ARRIBA1":P	%IO.2:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ARRIBA2":P	%IO.6:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ARRIBA3":P	%I1.2:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ARRIBA4":P	%I8.0:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ABAJO1":P	%IO.3:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ABAJO2":P	%IO.7:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ABAJO3":P	%I1.3:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_ABAJO4":P	%I8.1:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_SEGURIDA...	%IO.4:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_SEGURIDA...	%I1.0:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_SEGURIDA...	%I1.4:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PIN_SEGURIDA...	%I8.2:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_ACOPLE_ASEG...	%IO.5:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_ACOPLE_A...	%I1.1:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_ACOPLE_ASEG...	%I1.5:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_ACOPLE_ASEG...	%I8.3:P	Bool	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_PARO_EMERGE...	%IO.0:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"L_GUARDAMOT...	%IO.1:P	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE
<input type="checkbox"/>	"O_ASCENDE..."	%OO.1	Bool	FALSE	<input type="checkbox"/>	FALSE

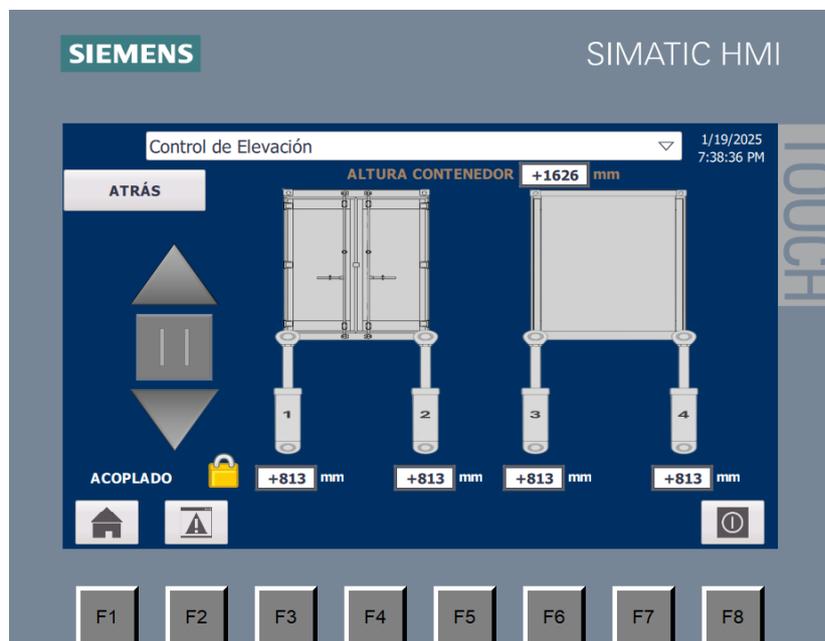
Ahora, al continuar con el levantamiento del contenedor, el contenedor estará visible como se observa en la Figura 3.54.

**Figura 3.54***Levantamiento del Contenedor – Fase 5*

(a)

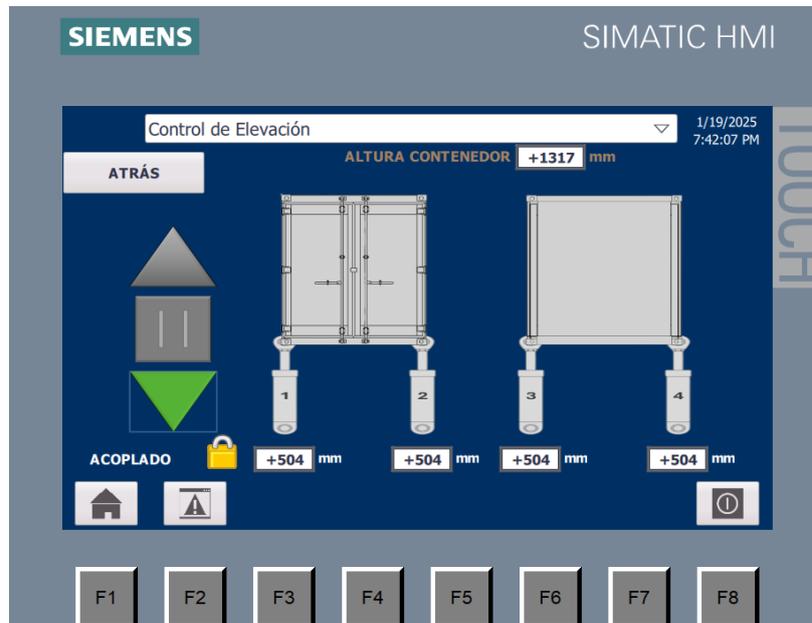
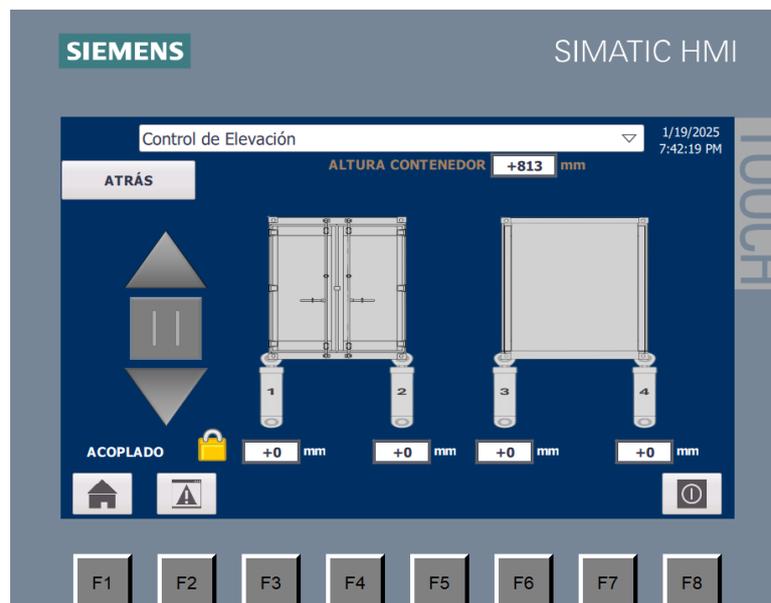


(b)



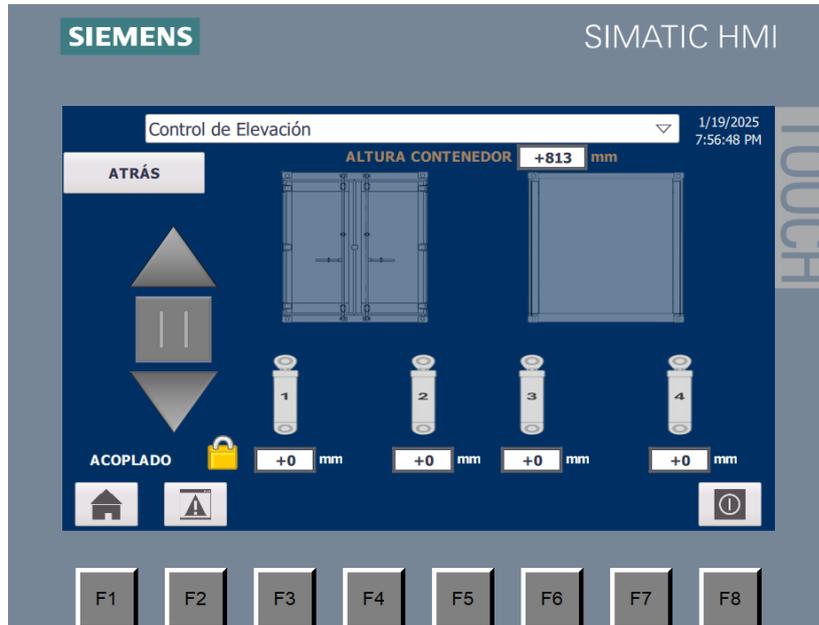
(c)

Ahora para el descenso del contenedor, se realiza la misma secuencia, pero en sentido contrario. Es así como se comienza con la retracción del vástago completamente como se muestra en la Figura 3.55.

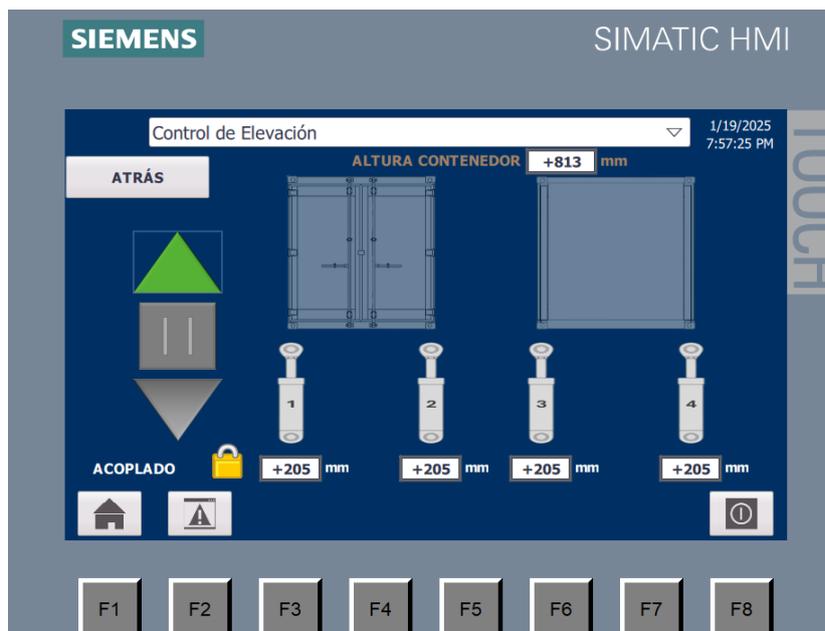
**Figura 3.55***Descenso del contenedor – Fase 5***(a)****(b)**

Para seguir descendiendo el contenedor, se tiene que entrar a la fase 4 y luego a la fase 3. Las acciones del operador, para entrar a la fase 4, cambia el estado de las entradas PLC nuevamente, tal y como se mostró en la Figura 3.52. En esta fase, se procede a elevar los cilindros para entrar a la fase 3, como se muestra en la Figura 3.56.

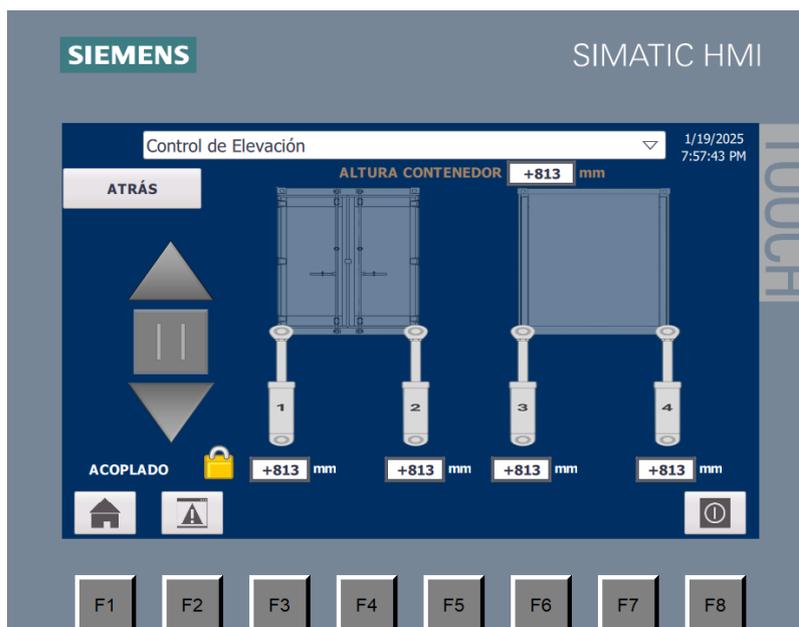
Figura 3.56

*Levantamiento de los cilindros – Fase 3*

(a)

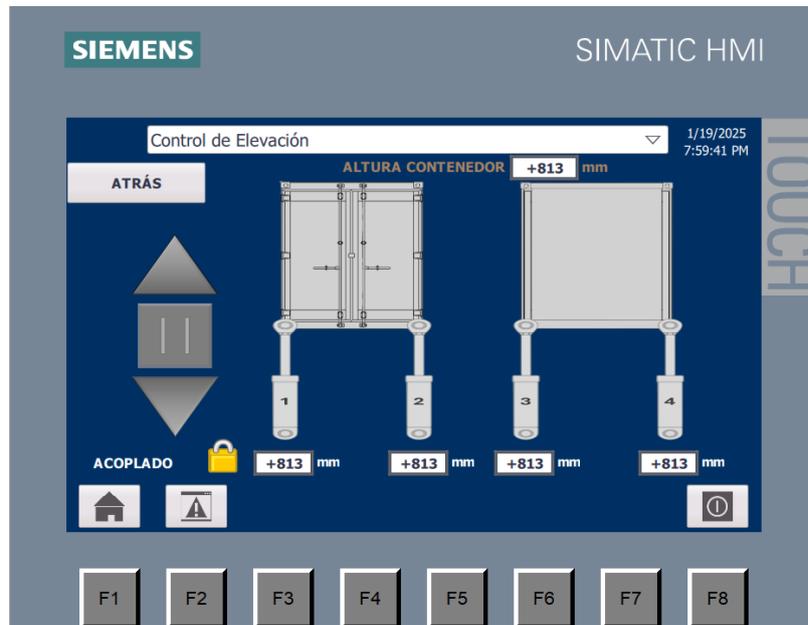


(b)

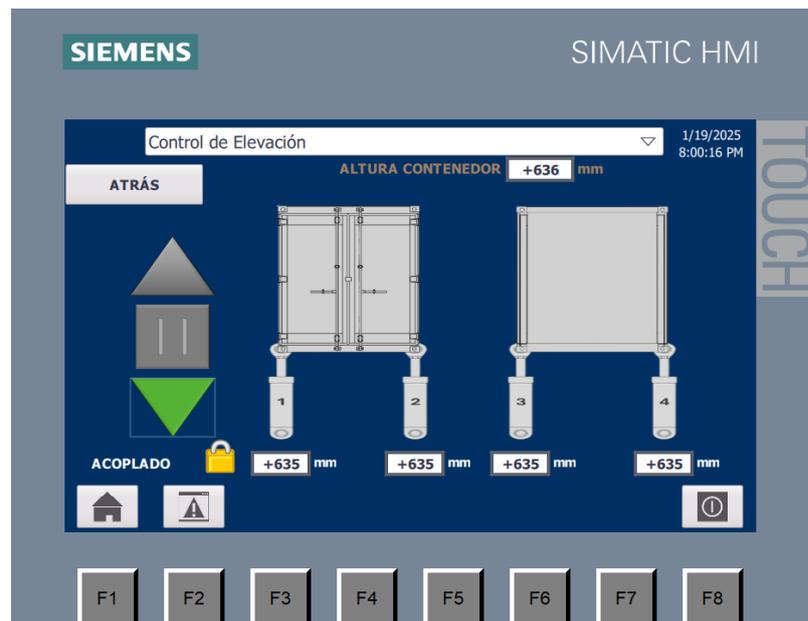


(c)

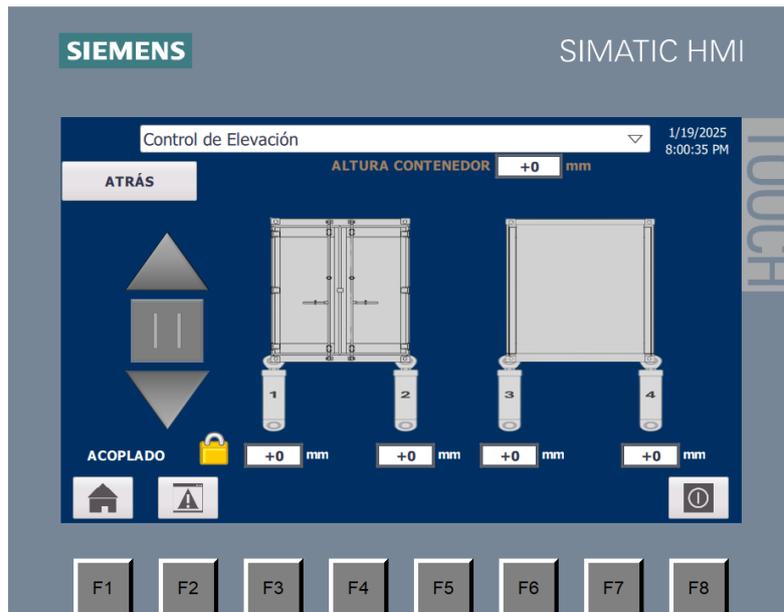
Una vez, se hayan extendido completamente los vástagos de los cilindros, el operador inserta el eje de unión en la parte superior de la camisa entrando a la Fase 3 y cambiando el estado de las entradas del PLC, como se mostró en la Figura 3.48. Luego de eso, para descender completamente el contenedor, el operador necesita remover el eje de soporte de la camisa entrando a la Fase 2 y cambiando el estado de las entradas del PLC, como se mostró en la Figura 3.46. En esta fase, se realiza el descenso completo hasta el suelo como se muestra en la Figura 3.57.

**Figura 3.57***Descenso completo del contenedor – Fase 2*

(a)



(b)

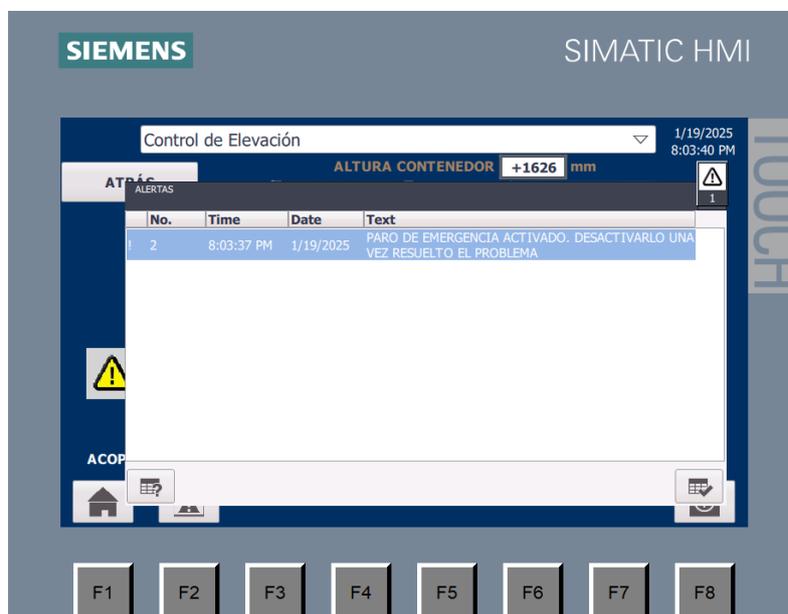


(c)

Para la validación del sistema de Alarmas, se simuló 2 situaciones de muchas tantas que activan el sistema de Alarmas: la activación del paro de emergencia y una incorrecta puesta de los ejes. La primera situación provoca que la ventana de Alertas emerge en la pantalla, dando un mensaje de lo que está pasando, como se observa en la Figura 3.58.

**Figura 3.58**

*Ventana emergente Alertas – Paro de emergencia activado*



La segunda situación, que hace referencia por ejemplo a que el operador se haya olvidado de insertar un eje a un cilindro en cualquier de las 5 fases, mostrando la ventana de Precaución, dando un mensaje informativo de la situación, así como se muestra en la Figura 3.59.

**Figura 3.59**

*Venta emergente Precaución – Incorrecta Puesta de Ejes*



### 3.3.4 Selección de componentes de monitoreo y control

La selección de los equipos de monitoreo y control se llevó a cabo teniendo en cuenta los requerimientos técnicos mínimos necesarios para asegurar el óptimo funcionamiento del programa previamente descrito. Dado que la programación se realizó en TIA Portal, se priorizó la elección de equipos de la marca SIEMENS. No obstante, los equipos seleccionados no son las únicas opciones viables, ya que existen otros modelos compatibles que podrían ser utilizados en la implementación del diseño. En cualquier caso, es fundamental que los equipos elegidos cumplan con los requisitos del diseño, o bien, adaptar el diseño a los equipos disponibles, si fuera necesario.

El PLC seleccionado, encargado de recibir las señales de los sensores y controlar el encendido de las bobinas de la válvula direccional conforme a la lógica programada, así como de

ejecutar otras funciones clave, es el modelo SIMATIC S7-1200, con el código 6ES7214-1AG40-0XB0. Este equipo destaca por sus avanzadas características técnicas, las cuales se detallan en la Tabla 3.22.

**Tabla 3.22**

*Características técnicas del PLC SIMATIC S7-1200: 6ES7214-1AG40-0XB0*

Imagen de Referencia	Características técnicas	Descripción
	CPU	1214C
	Versión	DC/DC/DC
	Alimentación	24 VDC
	Entradas digitales (DI)	14 DI a 24 VDC
	Salidas digitales (DO)	10 DO tipo transistor 24 VDC
	Entradas analógicas (AI)	2 AI (voltaje)
	Comunicación	Profinet/Industrial (1 Puerto Integrado), Profibus DP y Ethernet
	Capacidad de ampliación	Hasta 1 Signal Board, 8 módulos de señal y 3 módulos de comunicación.

*Nota.* Información extraída directamente del catálogo que ofrece SIEMENS [51]

La cantidad de entradas digitales requeridas para la programación supera la capacidad estándar ofrecida por cualquier PLC de la serie S7. Por ello, fue necesario incorporar un módulo de señal adicional con al menos 8 entradas digitales. Tras revisar el catálogo de SIEMENS, se seleccionó el módulo de señal 8DI a 24V DC, identificado con el código 6ES7221-1BF32-0XB0. Una imagen de referencia de este módulo se presenta en la Figura 3.60.

**Figura 3.60**

*Imagen de referencia de módulo de señal 8 DI: 6ES7221-1BF32-0XB0 [51]*



De igual manera, para que el sistema pueda procesar todas las señales analógicas disponibles, se requiere un módulo de señal adicional con al menos 4 entradas analógicas. Continuando con la línea de productos SIEMENS, se seleccionó el módulo de señal 4 AI, configurable para señales de voltaje (V) o corriente (mA), identificado con el código 6ES7231-4HD32-0XB0. Una imagen de referencia de este módulo se presenta en la Figura 3.61.

**Figura 3.61**

*Imagen de referencia de módulo de señal 4 AI: 6ES7231-4HD32-0XB0 [51]*



En cuanto a la selección del HMI, dispositivo encargado de permitir al operador controlar y monitorear el proceso de elevación, se priorizó que cumpliera con los requerimientos técnicos y, además, que contara con un tamaño suficiente para facilitar su visualización. Por ello, se eligió el

modelo HMI KTP700 PN Basic, identificado con el código 6AV2123-2GB03-0AX0. Las características más relevantes de este equipo se detallan en la Tabla 3.23.

**Tabla 3.23**

*Características técnicas del HMI KTP700 PN Basic: 6AV2123-2GB03-0AX0*

Imagen de Referencia	Características técnicas	Descripción
	Pantalla	TFT, 64000 colores
	Tamaño	7 pulg.
	Resolución	800 x 480
	Elemento de mando	Pantalla táctil y 8 teclas de función
	Memoria	10 MB
	Interfaz de comunicación	Profinet/Industrial y Ethernet (RJ45)

*Nota.* Información extraída directamente del catálogo que ofrece SIEMENS [51]

Terminando con la selección de los componentes, se debe agregar una fuente de poder de 24 VDC, para poder alimentar al PLC. Además, alimenta el resto de las componentes del circuito eléctrico. El catálogo de SIEMES, también ofrece este tipo de equipos, por lo que se seleccionó

### 3.4 Componente eléctrico

#### 3.4.1 Conexiones Eléctricas

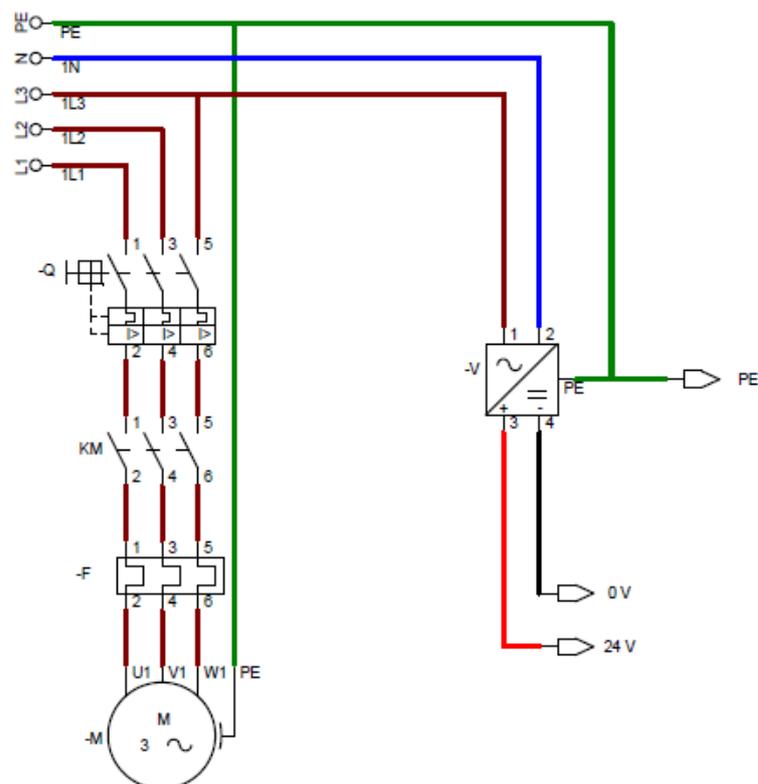
Las conexiones eléctricas del sistema se diseñaron tomando como referencia las conexiones generales presentadas en la Figura 2.43 del capítulo correspondiente, donde se detalla la interacción de cada componente con las entradas y salidas del PLC, así como con sus módulos. Para las conexiones finales y la posterior generación de planos, se organizó y detalló de forma más precisa cada componente del circuito.

En este proceso, se realizó una separación clara entre el circuito de potencia y el circuito de control, facilitando así su comprensión y asegurando un diseño más ordenado y eficiente.

El circuito de potencia incluye elementos de seguridad esenciales, como el breaker y el guardamotor, además del contactor, que desempeña un papel fundamental al permitir el flujo de corriente hacia la electrobomba para su encendido, la cual es de 5 HP con alimentación 220 V trifásica. Además, se aprovechó una de las líneas de alimentación para alimentar una fuente de poder de 24 V, que suministra energía a los demás componentes y al PLC, considerando las características del modelo especificado en la Tabla 3.32. En la Figura 3.62, parte del Plano B (Apéndice C), se presenta el diseño detallado del circuito de potencia.

**Figura 3.62**

*Circuito de Potencia*



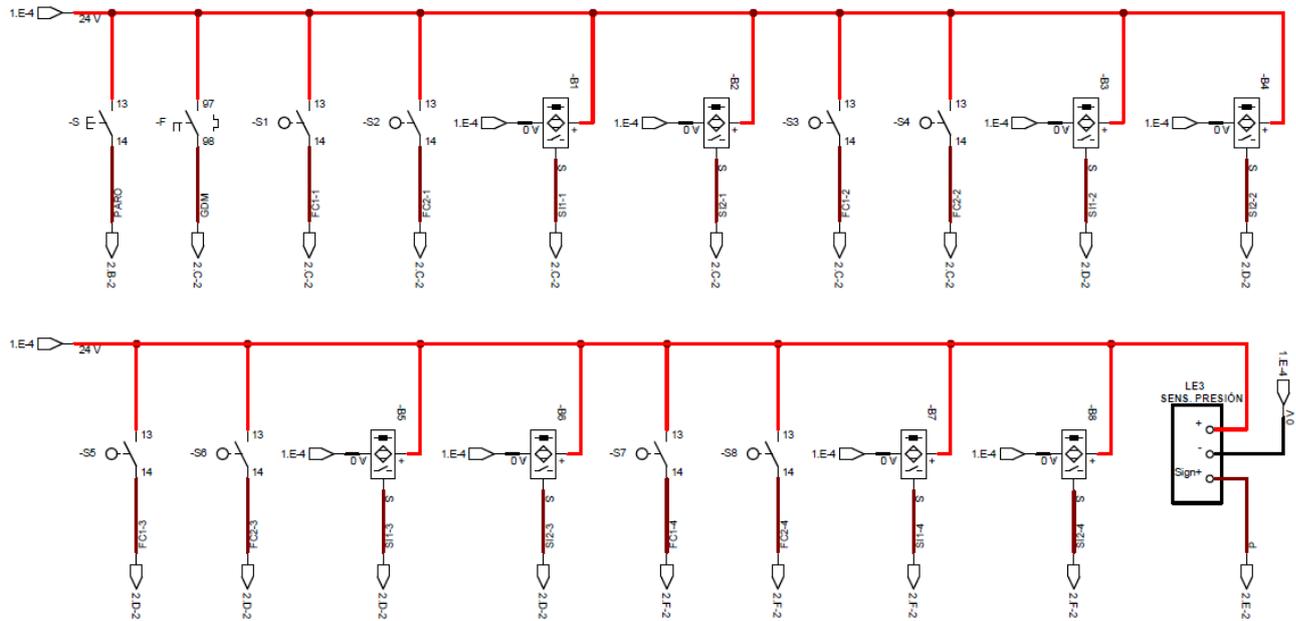
El circuito de control incluye los componentes de entrada y salida del PLC, así como sus respectivas conexiones. Entre los componentes de entrada se encuentran: sensores inductivos de

proximidad, finales de carrera tipo rodillo, botón de paro de emergencia, contactor auxiliar del guardamotor, sensor de presión y sensores de posición.

El detalle de las conexiones individuales de cada componente se presenta en la Figura 3.63 y Figura 3.64 (parte del Plano B y C, véase Apéndice C), donde se ilustran de manera clara y precisa.

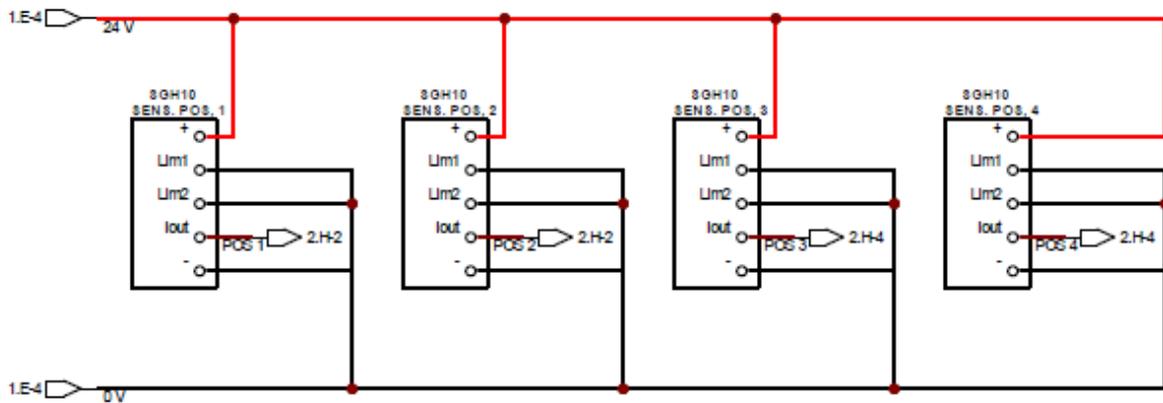
**Figura 3.63**

*Componentes de entrada del Circuito de Control*



**Figura 3.64**

*Sensores de posición analógicos*



En la Figura 3.63 se detallan las conexiones de cada componente de entrada del sistema, aunque se aclara que la implementación puede variar en función de los componentes disponibles. En este diseño se utilizaron sensores inductivos de 3 hilos con configuración PNP, finales de carrera tipo rodillo, un botón de paro de emergencia y un sensor de presión de 3 hilos PNP.

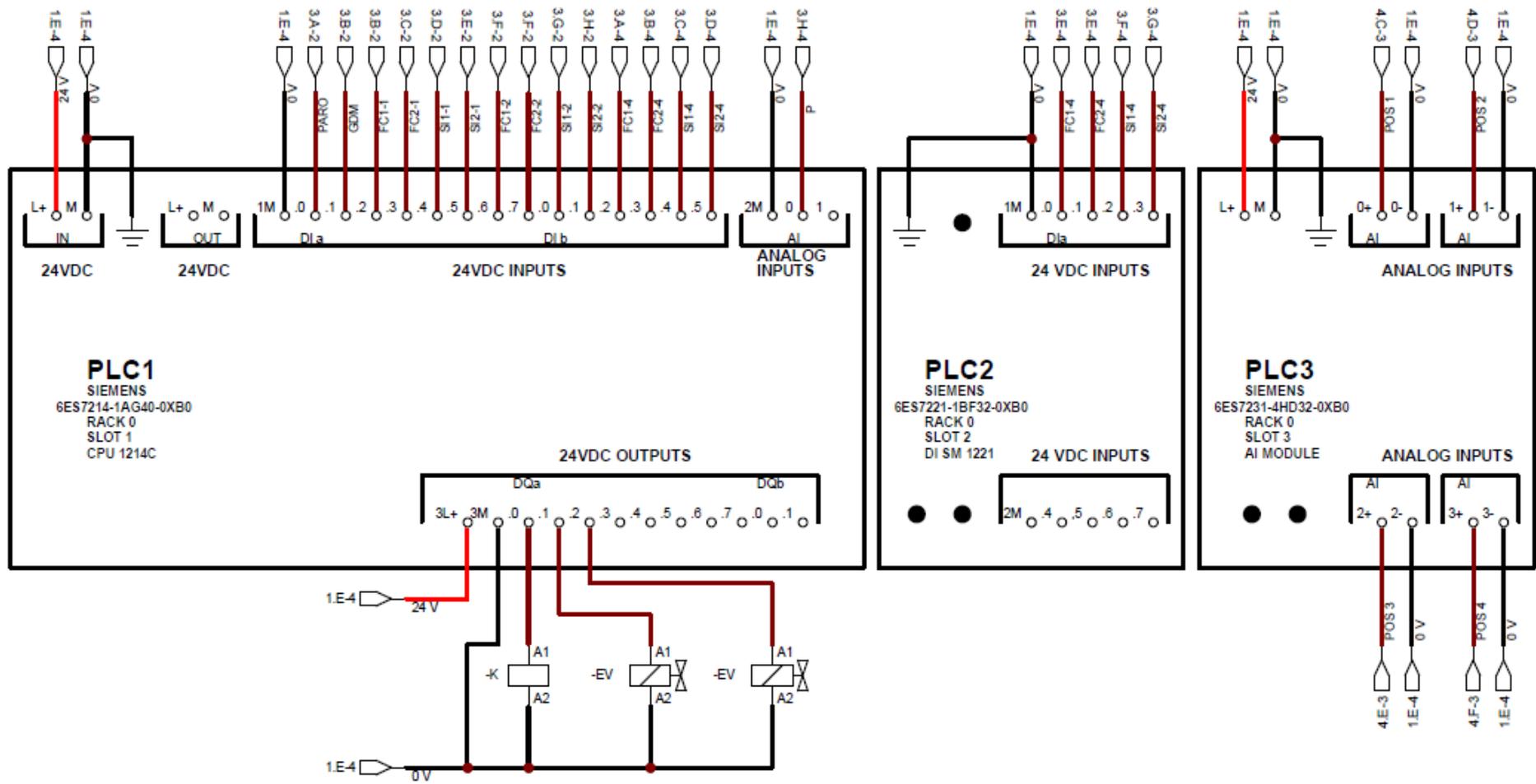
Por su parte, en la Figura 3.64 se presentan las conexiones de los sensores de posición, los cuales cuentan con 5 terminales. Dos de estos terminales están destinados a la alimentación del dispositivo, mientras que uno, etiquetado como *Iout*, corresponde a la señal analógica que será leída por el PLC. Los dos terminales restantes están identificados como *Lim1* y *Lim2*. El terminal *Lim1* se energiza con 24 V DC únicamente durante la configuración de la posición inicial del cilindro y, tras completarse, se conecta a tierra. De manera similar, el terminal *Lim2* se energiza con 24 V DC solo durante la configuración de la posición final del cilindro y luego también se conecta a tierra.

Esta configuración permite delimitar el rango de lectura del sensor, asegurando un funcionamiento adecuado y preciso del sistema.

Cada señal de entrada está claramente etiquetada indicando su destino, y en la Figura 3.65, parte del Plano B (véase Apéndice C), se muestra cómo estas señales son gestionadas y conectadas a las entradas del PLC o sus módulos correspondientes.

Figura 3.65

Conexiones de PLC y módulos



De igual manera, se identifican los componentes de salida del circuito de control: la bobina del contactor y las dos electroválvulas. La activación de la primera electroválvula, conectada a la salida 0.0 del PLC, abre el puerto de la válvula que permite el ascenso del vástago de los cilindros, de acuerdo con la lógica programada en el componente de control. Por su parte, la activación de la segunda electroválvula, conectada a la salida 0.1, habilita el descenso de los vástagos de los cilindros.

### **3.4.2 Selección de equipos y componentes eléctricos**

La selección de los equipos y componentes eléctricos se llevó a cabo en función de los requerimientos técnicos mínimos necesarios para asegurar el óptimo desempeño del circuito eléctrico. Este proceso incluyó la consideración de los valores de corriente y voltaje necesarios para el encendido adecuado de la electrobomba, junto con sus dispositivos de seguridad, así como los requerimientos específicos de los componentes de entrada y salida del PLC y sus módulos.

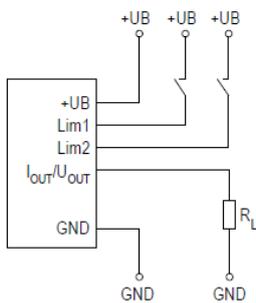
Se dio prioridad a equipos y componentes disponibles en el mercado local con el objetivo de reducir costos en una futura implementación. No obstante, los elementos seleccionados no son los únicos que podrían satisfacer los requisitos del diseño. Es importante asegurarse de que los equipos o componentes utilizados durante la implementación no afecten negativamente el diseño desarrollado. En caso de que se identifiquen incompatibilidades, el diseño debe ser adaptado para garantizar la integración adecuada de los nuevos equipos o componentes.

Comenzando con los componentes de entrada del PLC, se encuentran los sensores de posición, los cuales tienen la función crucial de detectar la posición del vástago de los cilindros, siendo fundamentales para monitorear y garantizar la sincronización durante el proceso de levantamiento. El sensor seleccionado, modelo SGH10L de la marca alemana SIKO, se distingue por su diseño compacto, que facilita una instalación sencilla directamente en el cilindro sin afectar

ni reducir el espacio interno. Además, cuenta con una práctica conexión lateral que optimiza su integración. Las principales características técnicas de este sensor se detallan en la Tabla 3.24.

**Tabla 3.24**

*Características técnicas del sensor de posición SGH10L*

Imagen de referencia	Características técnicas	Descripción	Simbología
	Voltaje de alimentación	12...32 V DC (para salida 4-20 mA)	
	Corriente de consumo	32 mA (sin carga)	
	Corriente de salida	4-20 mA	
	Longitud de medición	1000 mm	
	Tipo de conexión	Conector 1xM12 (Codificación A)	
	Presión máxima	5076.32 psi o 350 bar	

*Nota.* Información extraída directamente de la página oficial de SIKO [52]

Igualmente, importantes en el monitoreo del proceso de levantamiento son los sensores inductivos de proximidad, los cuales permiten identificar la presencia del eje que soporta la camisa durante la transición entre la primera y segunda etapa del levantamiento, así como garantizar el aseguramiento de los acoples. Este tipo de componente cuenta con una amplia disponibilidad en el mercado, con diversas marcas y modelos que ofrecen múltiples opciones. Un ejemplo destacado es el modelo LM30-3015PA, un sensor inductivo de 3 hilos PNP disponible en el sitio web de MICROS. Las características técnicas de este sensor se detallan en la Tabla 3.25.

**Tabla 3.25***Características técnicas del sensor de inductivo LM30-3015PA*

<b>Imagen de referencia</b>	<b>Características técnicas</b>	<b>Descripción</b>
	Voltaje de alimentación	6...36 V DC
	Distancia de detección	15 mm
	Forma de salida	3 hilos PNP
	Estado de salida	Normalmente abierto

*Nota.* Información extraída directamente de la página oficial de MICROS [53]

Asimismo, se emplean finales de carrera que cumplen una función similar a la de los sensores inductivos, al identificar la posición de los ejes en la parte superior o inferior de la camisa del soporte hidráulico, dependiendo de la etapa de elevación. Existe una amplia variedad de estos dispositivos en el mercado, tanto en formas como en especificaciones. En este caso, se seleccionó un final de carrera de tipo rodillo de la marca SIEMENS, con el código 3SE5212-0CE10. Este dispositivo opera de forma mecánica, con una alimentación de 24 V DC y una corriente de operación de 3 A. Una imagen de referencia de este componente se muestra en la Figura 3.66.

**Figura 3.66***Imagen de referencia del final de carrera 3SE5212-0CE10 [51]*

Para finalizar con los componentes de monitoreo, se incluye el sensor de presión. La empresa WINTERS ofrece un modelo de la categoría LE3 que se ajusta perfectamente a los requerimientos del diseño. Las características técnicas de este sensor se detallan en la Tabla 3.26.

**Tabla 3.26**

*Características técnicas del sensor de presión LE3*

Imagen de referencia	Características técnicas	Descripción
	Voltaje de alimentación	14...30 V DC
	Forma de salida	3 hilos
	Corriente de consumo	5 mA
	Voltaje de salida	0-10 V

*Nota.* Información extraída directamente del catálogo que ofrece WINTERS [54]

Como último componente de entrada del PLC se encuentra el botón de emergencia, un dispositivo esencial que también cuenta con una amplia variedad de opciones disponibles en el mercado. Un ejemplo es el modelo ofrecido por SIEMENS con el código 3SU1100-1HB20-1FH0, diseñado en formato tipo hongo y con desenclavamiento por giro. Una imagen de referencia de este componente se presenta en la Figura 3.67.

**Figura 3.67**

*Botón de emergencia tipo hongo 3SU1100-1HB20-1FH0 [51]*



Para alimentación de todos los componentes de entrada, así como la alimentación del PLC, se seleccionó una fuente de poder de 24 V. La fuente de poder seleccionada, de marca TDK-Lambda, pertenece a las series LS25-150 con corriente máxima de salida de 6.5 A para abastecer todo el circuito. Una imagen de referencia de la fuente se presenta en la Figura 3.68.

**Figura 3.68**

*Fuente de poder 24 V LS25-150 [55]*



Por último, para la selección de los componentes del circuito de control, se estimó la corriente de línea en función de las características propuestas de la electrobomba. Se consideró una eficiencia del 85% y un factor de potencia de 0.85, valores que generalmente se especifican en la placa del motor, pero que, en este caso, se calcularon utilizando valores comúnmente disponibles en el mercado. A partir de estos parámetros, se determinó la potencia eléctrica que consumiría el motor:

$$P_{elec} = \frac{p_{mec}}{\eta} \quad (3.8)$$

$$P_{elec} = \frac{5hp \cdot \frac{746W}{1hp}}{0.85} = 4388.2 W$$

Aplicando la fórmula de potencia de motores trifásicos, se despeja la corriente de línea:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot FC \quad (3.9)$$

$$\frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot FC} = I_L$$

Reemplazando los valores correspondientes de calcula la corriente de línea:

$$I_L = \frac{4388.2}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0.85} = 13.55 \text{ A}$$

Con este valor y siguiendo las prácticas comunes en la industria, se establecieron las siguientes consideraciones para la selección de los equipos: el breaker debe permitir un 25% más de la corriente de línea para soportar el arranque del motor, el contactor debe ser capaz de manejar la corriente nominal con un margen adicional para las corrientes de arranque, y el guardamotor debe estar calibrado para proteger la corriente nominal, ya que este actúa ante sobrecargas prolongadas. Con base en estos criterios, se seleccionaron ejemplos de equipos que cumplen con estas características.

Para el breaker, se seleccionó un modelo de la marca SCHNEIDER con el código 3P-20A, diseñado con 3 polos y una capacidad nominal de 63 A. Una imagen de referencia de este breaker se muestra en la Figura 3.69.

**Figura 3.69**

*Breaker 3P-20A [56]*



Para el contactor, se seleccionó un modelo de la marca SIEMENS, de categoría AC-3, con el código 3RT2027-1BB40. Este dispositivo requiere una alimentación de 24 V para la conmutación de los contactos. Una imagen de referencia del contactor se presenta en la Figura 3.70.

**Figura 3.70**

*Contactor AC-3 3RT2027-1BB40 [51]*



Por último, para el guardamotor se seleccionó un modelo de la marca SIEMENS, de clase 10, con el código 3RV20214CA10. Su rango de ajuste varía de 13 a 20 A, lo que lo hace ideal para cumplir con los requerimientos del diseño. Además, incorpora contactos auxiliares de 1 NA y 1 NC, lo que permite monitorear su activación a través del HMI. Una imagen de referencia del guardamotor se presenta en la Figura 3.71.

**Figura 3.71**

*Guardamotor Clase 10 3RV20214CA10 [51]*



### 3.5 Análisis de costos

#### 3.5.1 Materiales mecánicos

El análisis de costos correspondiente a los componentes mecánicos del soporte hidráulico se detalla en la Tabla 3.27.

**Tabla 3.27**

*Análisis de costos mecánicos (soporte hidráulico)*

Descripción	Costo unitario (USD)	Cantidad	Costo Total (USD)
Plancha 1227x2440x10 mm	260.41	3	781.23
Plancha 1227x2440x3 mm	73.12	3	219.36
Eje AISI 4340: longitud 6 m – diámetro 50 mm	481.29	1	481.29
Rueda ALTH 200/20k	56.50	8	452.00
Pasador 5 mm	0.17	4	0.68
Pasador 10 mm	0.34	4	1.36
Pasador tubular 10 mm	2.65	4	10.60
Pasador tubular 5 mm	0.28	8	2.24
Tornillo cilíndrico M4	0.03	16	0.48
Tornillo cilíndrico M6	0.06	40	2.40
Perno M8	0.12	16	1.92
Perno avellanado M10	0.37	16	5.92
Perno M10	0.22	8	1.76
Perno M20	2.73	4	10.92
Tuerca M8	0.08	16	1.28
Tuerca M10	0.09	8	0.72
Tuerca M20	0.60	4	2.40
Abrazadera PVC 1/2	0.125	20	2.50
		<b>Total</b>	1979.06

Por otra parte, para la base móvil también se cuenta con un análisis de costos que se muestra en la Tabla 3.28.

**Tabla 3.28***Análisis de costos mecánicos (base móvil)*

<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Tubo estructural cuadrado 100x3 mm – longitud 6 m	66.20	1	66.20
Tubo estructural cuadrado 50x3 mm – longitud 6 m	33.14	1	33.14
Tubo estructural redondo 1- 1/2 pulg x2 mm - longitud 6 m	12.68	1	12.68
Ruedas LH-ALBS 125K-1-FI	95.34	4	381.36
Perno M8	0.12	20	2.40
Tuerca M8	0.08	16	1.28
Tapa plástica para tubo cuadrado	0.50	6 (2)	1.50
		<b>Total</b>	<b>498.56</b>

Además, como parte del análisis de costos mecánico se incluye a la mano de obra directa que realizan trabajos de soldadura y mecanizado.

El proceso para la obtención de los costos de soldadura se describe de la siguiente manera:

$$Costo\ total = (H_{mo} \times C_{hora}) + C_{materiales} + C_{adicionales} \quad (3.10)$$

En donde:

$H_{mo}$ : Hora de mano de obra

$C_{hora}$ : Costo por hora de la mano de obra

$C_{materiales}$ : Costo de materiales

$C_{adicionales}$ : Costos adicionales

Datos iniciales:

Longitud total por soldar: Alrededor de 10 metros

Tipo de soldadura: SMAW

Mano de obra: 2.5 días, \$60 por día trabajado (8 horas laborales)

Costos adicionales (preparación, limpieza, otros): Alrededor de %15

$$\text{Costo de mano de obra} = H_{mo} \times C_{hora}$$

$$\text{Costo de mano de obra} = 2.5 \times 60 = \$ 150$$

Un consumo promedio para un electrodo E7018 de 3.2 mm diámetro, es de alrededor de 0.5 kg de metal por kg de electrodo consumido y aproximadamente 2.5 a 3.5 m de soldadura por kg. Se estima que se necesita entre 3 y 4 kg de electrodos para completar el trabajo de soldadura de los soportes hidráulicos y la base móvil, el precio por kg de electrodo en la marca INDURA es de \$6.98.

$$\text{Costo de electrodos} = \text{Cantidad} \times \text{Costo por kg}$$

$$\text{Costo de electrodos} = 4 \times 6.98 = \$ 27.92$$

Reemplazando los datos en la ecuación (3.1), se obtiene que:

$$\text{Costo total soldadura} = 150 + 27.92 + 15 = \$ 192.92$$

Ahora, el proceso para la obtención de los costos de mecanizado sigue la misma estructura de la ecuación (3.1), pero en este caso se obtiene que:

Datos iniciales:

Mano de obra: 3 días, \$30 por día trabajado (8 horas laborales)

Costos adicionales (preparación, limpieza, otros): Alrededor de \$20

$$\text{Costo de mano de obra} = H_{mo} \times C_{hora}$$

$$\text{Costo de mano de obra} = 3 \times 60 = \$ 180$$

Realizando un estimado del costo de herramientas y consumibles, entre los que se incluyen discos de corte, insertos, brocas, herramientas, entre otros, se estableció que:

$$\text{Costo total de consumibles} \approx \$ 100$$

De igual manera, reemplazando los datos en la ecuación, se obtiene que:

$$\text{Costo total mecanizado} = 180 + 100 + 20 = \$ 300$$

### 3.5.2 Equipos hidráulicos

Los componentes hidráulicos que conforman al sistema presentan costos que se detallan en la Tabla 3.29.

**Tabla 3.29**

*Análisis de costos (componente hidráulico)*

Descripción	Costo unitario (USD)	Cantidad	Costo Total (USD)
Unidad de potencia	1531.62	1	1531.62
Cilindro hidráulico 3,5 pulg de diámetro x 32 pulg de carrera	544.60	4	2178.4
Válvula de contrabalance VBCD ½ pulg SE	74.48	4	297.92
Válvula divisora de flujo tipo engranaje HPR21-59	1202.85	2	2405.7
Válvula reguladora de flujo IFP FCI-04	64.52	2	129.04
Válvula direccional RH06021-024/00F	78.75	1	78.75
Manguera 100R2AT ½ pulg rollo de 50 m	5.15	2	10.30
Fluido Hidráulico AW ISO 68 – caneca 5 galones	59.79	6	358.74
Accesorios hidráulicos (conexiones, uniones y otros)	200.00	-	200.00
		<b>Total</b>	<b>7190.47</b>

Se debe tener en cuenta que, para el caso de la válvula divisora de flujo y el cilindro hidráulico, sus costos unitarios están basados en un valor aproximado, ya que, en el mercado

nacional estos productos no se encuentran disponibles haciendo necesaria sus importaciones, dicho motivo subiría su precio un mínimo de 40% en comparación con el precio original.

### 3.5.3 Equipos eléctricos y de control industrial

El análisis de costos de los componentes electrónicos y de control que conforman al sistema se presentan en la Tabla 3.30.

**Tabla 3.30**

*Análisis de costos (componente eléctrico y de control)*

Descripción	Costo unitario (USD)	Cantidad	Costo Total (USD)
Sensor Inductivo	11.00	8	88.00
Sensor de Presión	215.30	1	215.30
Sensor de Posición (Codificador accionado por cable)	350.00	4	1400.00
Final de carrera	37.92	8	303.36
Pantalla HMI 7 pulg Basic Panel 6AV2123-2GB03-0AX0	1683.00	1	1683.00
PLC 1200 6ES7214-1AG-40-0XB0	943.00	1	943.00
Módulo de expansión 4 AI (4-20 mA) 6ES7231-4HD32-0XB0	564.00	1	564.00
Módulo de expansión 8 DI (4-20 mA) 6ES7221-1BF32-0XB0	282.00	1	282.00
Botón Paro de emergencia – 24 V	67.15	1	67.15
Breaker – 3P-20A	17.50	1	17.50
Contactador	135.82	1	135.82
Guardamotor 24 V 10-16 A	282.90	1	282.90
Fuente LS150-24 24V – 6.5A	41.75	1	41.75
Panel eléctrico	175.17	1	175.17

Cables y otros	200.00	-	200.00
		<b>Total</b>	6398.95

### 3.5.4 *Análisis de costo total*

El resumen del análisis de costos de los componentes involucrados en el sistema se detalla en la Tabla 3.31.

**Tabla 3.31**

*Costo total*

<b>Componente</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Mecánico	2970.54
Hidráulico	7190.47
Eléctrico y de Control Industrial	6398.95
<b>Total</b>	16559.96

### 3.5.5 *Comparativa con el mercado*

La solución propuesta se compara con otros equipos con características similares en la Tabla 3.32.

**Tabla 3.32**

*Comparativa con el mercado internacional [57], [58]*

<b>Componente</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Costo Final (USD)</b>
Solución propuesta	16559.96	16559.96
Container Lifting Jacks	17257.00 + importación 40%	24159.80 aproximado
Sistema hidráulico 40T 1,6 M	15000.00 + importación 40%	21000.00 aproximado

## Capítulo 4

## 4.1 Conclusiones y recomendaciones

A lo largo del diseño del proyecto se han analizado sus aspectos técnicos y operativos, evaluando el desempeño y las implicaciones en términos de eficiencia, seguridad y viabilidad económica. En base a los resultados obtenidos y a los objetivos planteados para el proyecto, se exponen conclusiones y recomendaciones, destacando puntos clave y proponiendo mejoras que optimicen su funcionamiento.

### 4.1.1 Conclusiones

- Mediante los programas multidisciplinarios como Autodesk Inventor y CadeSimu se generaron los planos mecánicos y eléctricos respectivamente, con los cuáles, en una futura implementación del diseño se tendrá la facilidad de mecanizar, ensamblar y conectar todas las piezas y equipos involucrados en el sistema en sus posiciones correspondientes.
- Como parte de la seguridad implementada en el diseño, se desarrolló un sistema de seguridad electromecánico conformado principalmente por válvulas de contrabalance que permiten el descenso seguro de los soportes, y un sistema de cierre de válvulas monitoreado por el PLC, en donde en presencia de cualquier error en el proceso las válvulas se cierran, bloqueando el sistema sin que este pueda realizar el trabajo de ascenso o descenso del contenedor. Una vez detectado el error y bloqueado el proceso, su arreglo se realiza manualmente.
- Las válvulas divisoras de flujo de tipo engranajes, junto a las válvulas de alivio de puerto cruzado, permitieron la sincronización continua de los cilindros mediante la distribución equitativa del fluido hidráulico dirigido hacia los soportes, asegurando una elevación uniforme del contenedor. En adición, el monitoreo por parte del PLC verifica dicha sincronización en todas las etapas del proceso, ya sea en la elevación o en el descenso.

- En la validación del diseño mecánico, como parte del análisis estructural estático se obtuvo un valor de coeficiente de seguridad, para el caso más crítico, de 5.1 asegurando robustez y seguridad del diseño. Por otro lado, en el análisis de fatiga se obtuvo que en la zona de mayor esfuerzo de Von Mises el factor de seguridad disminuyó a 1.54, resultado que no representa una situación crítica debido a la baja frecuencia de uso en este tipo de sistemas, la cual promedia 1 vez cada semana.
- Por otro lado, en la validación del circuito hidráulico, se desarrolló por medio de simulaciones gráficas del comportamiento de los cilindros, en donde la posición lineal en el caso del ascenso y descenso presenta un 100% de eficiencia en la sincronización de los cilindros y un comportamiento lineal suave, por otro lado, en el caso de la velocidad lineal se mantiene la sincronización, pero se presentan perturbaciones a lo largo del proceso que afectan, en menor medida, la estabilidad del movimiento sobre todo en el caso del descenso con una variación entre -2 y -4.5 cm/s.
- Como última validación del componente de control industrial, se realizó la simulación de la pantalla HMI y su interacción con las entradas analógicas y digitales del PLC. Esto permitió verificar el comportamiento del proceso, desarrollando el control en cada paso de la elevación y descenso, además, las alarmas implementadas notifican omisiones en los pasos del proceso o la ocurrencia de fallas, garantizando así un funcionamiento más seguro.
- Finalmente, se determinó un costo estimado de implementación del diseño de \$16,559.96, destacándose como una opción competitiva frente a equipos similares en el mercado internacional. Estos equipos importados suelen implicar una inversión significativamente mayor y carecen de las ventajas adicionales de la solución propuesta, como el control y la seguridad proporcionada por el monitoreo continuo del proceso. Además, el tiempo de espera para la llegada de equipos importados no solo retrasa la culminación de los trabajos

en curso, sino que también limita la posibilidad de aceptar nuevos proyectos. Por otro lado, el mantenimiento y servicio al cliente de equipos importados no son inmediatos, a diferencia de un diseño desarrollado e implementado localmente, que ofrece atención y soporte técnico de manera rápida y eficiente. Esto posiciona al proyecto como una alternativa competitiva en precio, con un valor agregado significativo en términos de funcionalidad, servicio y seguridad.

#### **4.1.2 Recomendaciones**

- Dentro del diseño mecánico, algunas medidas fueron establecidas en base a los equipos y sensores disponibles, por lo que, en el caso de que sean distintos a los establecidos en el análisis de costos, se recomienda revisar las medidas de los espacios en donde serán colocados.
- El sistema de acople perteneciente al soporte hidráulico cuenta con un perno, una tuerca, un pasador y unos topes, se recomienda marcar con exactitud el lugar de perforación que tendrá el perno y la tuerca, con la finalidad, que el pasador gire únicamente en el espacio dispuesto entre los topes y así sus ubicaciones no sean cambiadas, caso contrario, se tendría que realizar ajustes.
- Se debe tener en cuenta que la selección de equipos no está exenta a cambios, por lo que, los sensores y equipos eléctricos utilizados fueron seleccionados según sus capacidades eléctricas y su factibilidad de combinación en un sistema eléctrico. Cualquier cambio realizado deberá ser adaptado y ajustado a los demás equipos para asegurar su correcto funcionamiento.
- A futuro, como mejora se podría llevar a cabo el diseño e implementación de un controlador que regule y mejore la estabilidad durante el descenso del contenedor. Este controlador regularía la apertura de una válvula direccional de tipo proporcional,

ajustándose en tiempo real a partir de las lecturas de posición, garantizando un control más preciso y eficiente del movimiento.

- En el sistema de monitoreo y control, como mejora, se puede añadir registros del tiempo de uso del equipo, aprovechando las funcionalidades del PLC, que permitan saber cuándo realizar mantenimientos ya sean preventivos o correctivos, cambios de piezas o equipos y llevar una lectura de cuánta energía se ha consumido en su tiempo de aplicación.

## Referencias

- [1] R. Proctor, “The Complete Guide to Container Tracking Systems | Link Labs.” Accessed: Nov. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.link-labs.com/blog/container-tracking>
- [2] Bison Group, “9 Ways To Lift A Shipping Container.” Accessed: Nov. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.bison-jacks.com/blog/iso-lifting/9-ways-to-lift-a-shipping-container/>
- [3] Naciones Unidas, “Objetivos de Desarrollo Sostenible.” Accessed: Nov. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/page/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- [4] SEA CONTAINERS NZ, “20ft High Cube Container Dimensions.” Accessed: Nov. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.seacontainers.co.nz/shipping-container-dimensions/20ft-high-cube/>
- [5] J. Vinícius, “Chassis Reboque Container.” Accessed: Nov. 17, 2024. [Online]. Available: <https://grabcad.com/library/chassis-reboque-container-1>
- [6] DONGQI GROUP, “RTG grúa/grúa pórtico sobre neumáticos precio.” Accessed: Nov. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.eurocranedq.com/es/grua-portico/rtg-grua-portico-precio.html>
- [7] SEVENCRAANE, “Grúa pórtico para contenedores.” Accessed: Nov. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.sevencrane.com/es/producto/container-gantry-crane/>
- [8] SeaCube Container Leasing, “40 Foot High Cube Dry.” Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: [https://seacubecontainers.com/product\\_specs/40-foot-high-cube-dry/](https://seacubecontainers.com/product_specs/40-foot-high-cube-dry/)
- [9] Chassis King, “20 Foot Slider Container Chassis.” Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <http://www.chassisking.com/products/20-foot-container-chassis/20-foot-slider-container-chassis/>
- [10] Bison, “C-Lift T Series.” Accessed: Nov. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.bison-jacks.com/container-lifting/transportable-container-legs/>
- [11] SEM Inc., “20ft Container Loader Tilter ManufacturerChina Container Filling Machine Tilter with High Quality.” Accessed: Nov. 04, 2024. [Online]. Available: <http://www.sem-tilter.com/container-tilter/20ft-container-loader-tilter-168.html>
- [12] Stokes Industries Inc., “Hydraulic Container Lift – Stokes Industries Co. LTD.” Accessed: Nov. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.stokesindustries.com/hydraulic-container-lift/>

- [13] Tymbia Inc., “Set Elevadores Hidráulicos Contenedores 32ton, El conjunto de patas...” Accessed: Nov. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.tymbia.com/es/producto/2901-set-elevadores-hidraulicos-contenedores-32ton-elevadores-de-cargas-especiales-e000000001>
- [14] S. de las H. Jiménez, *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*, Segunda. Barcelona, 2018.
- [15] Mac Hydraulics, “The Roles and Characteristics of Hydraulic Fluid.” Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://mac-hyd.com/2021/05/11/the-roles-and-characteristics-of-hydraulic-fluid-2/>
- [16] B. Casey, “How To Size A Hydraulic Tank.” Accessed: Nov. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.powermotiontech.com/hydraulics-at-work/article/21884901/how-to-size-a-hydraulic-tank>
- [17] Target Hydraulics, “Tanques hidráulicos: aprenda todo sobre los tanques en sistemas hidráulicos.” Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.target-hydraulics.com/es/hydraulic-tanks-2/>
- [18] A. Ruales, “Introducción a los Sistemas Hidráulicos,” Apr. 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/350735315>
- [19] Hidromag, “Bombas Hidráulicas.” Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.hidromag.com.ec/productos/bombas-hidraulicas/>
- [20] LUFILSUR, “Filtros hidráulicos, la mejor defensa contra el desgaste.” Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.lufilsur.es/filtros-hidraulicos/>
- [21] A. Al-Mahasneh, “Pneumatics and hydraulics Hydraulic valves.”
- [22] SHI, “Válvulas de control de flujo.” Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://equipos-hidraulicos.com/blog/valvulas-de-control-de-flujo/>
- [23] Sensing, “Transductor de posición compacto para cilindro ASM PCST25.” Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://sensores-de-medida.es/catalogo/transductor-de-posicion-compacto-para-cilindro-asm-pcst25/>
- [24] Enerpac, “Cilindros hidráulicos lineales.” Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.enerpac.com/es/cilindros-para-sujeci%C3%B3n/ESWorkholdingCylindersLinear?srsId=AfmBOooxTSLnjbyCLvVPI2RHAYW-AZWQzVScTx4bEblmmgQPJmf7YOOOr>

- [25] K. K. Powar, T. Sanjay Kurkute, O. M. Chavan, A. Bhaskar Kumbhar, and A. U. Khandke, "Design and development of Hydraulic Lift for fastening of a SPM (Special Purpose Machine)-Subsystem," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 06, no. 03, p. 4264, Mar. 2019, [Online]. Available: [www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- [26] M. Gannon, "What type of flow divider is best for my application?" Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.mobilehydraulictips.com/what-type-of-flow-divider-is-best-for-my-application/>
- [27] Noria Latin America, "Divisores de flujo hidráulicos: Descripción general." Accessed: Nov. 05, 2024. [Online]. Available: <https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mltii/divisores-de-flujo-hidraulicos-descripcion-general/>
- [28] R. Zapata, "Estructura de sistema de control (lazo abierto-lazo cerrado)," 2020.
- [29] RS, "Guía de PLC | Controladores lógicos programables | RS." Accessed: Nov. 05, 2024. [Online]. Available: <https://es.rs-online.com/web/content/blog-rs/ideas-consejos/guia-plc>
- [30] NI, "Explicación sobre el controlador PID y la teoría." Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.ni.com/es/shop/labview/pid-theory-explained.html?srsltid=AfmBOooyj1etTqZJqqFGkYKPP7SnDC5ECIEk-XjQtrGN9Og4Fpwi5ocT>
- [31] N. Hodžić, E. Ekinović, and M. Redžić, "The Application of Software Automation Studio in Design and Work Simulation of Hydraulic Systems," Budapest, Sep. 2014.
- [32] F. Suárez, "Propuesta Metodológica para la Implementación de Sistemas de Control Automatizados con la plataforma Tia Portal," Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, 2024.
- [33] N. Thi, N. Le Van, and N. T. Duong, "FORCE AND STRESS ANALYSIS AT THE LINKAGE POINTS OF THE MINI LIFTING DEVICE BY ADAMS/VIEW AND INVENTOR SOFTWARE PHÂN TÍCH LỰC VÀ ỨNG SUẤT TẠI CÁC ĐIỂM LIÊN KẾT CỦA THIẾT BỊ NÂNG MINI BẰNG PHẦN MỀM ADAMS/VIEW VÀ INVENTOR".
- [34] Filipsson Fredrik, "Exploring Autodesk Inventor: A Guide to 3D Mechanical Design." Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://redresscompliance.com/exploring-autodesk-inventor-a-guide-to-3d-mechanical-design/>

- [35] M. Rasheed, “Engineering Analysis in mechanical design.” Accessed: Nov. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.school-mechademic.com/blog/engineering-analysis-in-mechanical-design>
- [36] ISO, “ISO 3691-1:2011(E) COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT,” 2011. [Online]. Available: [www.iso.org](http://www.iso.org)
- [37] The American Society of Mechanical Engineers, “Jacks, Industrial Rollers, Air Casters, and Hydraulic Gantries,” 2015. [Online]. Available: [www.astaco.ir](http://www.astaco.ir)
- [38] DIPAC, “Eje AISI 4340 (705).” Accessed: Feb. 02, 2025. [Online]. Available: <https://dipacmanta.com/producto/ejes/aisi-4340-705/eje-aisi-4340-705/>
- [39] R. L. Mott, *Mecánica de fluidos*, 6ta edición. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 2006.
- [40] SUMITEC S.A., “ACERO ESTRUCTURAL ASTM A-572.” Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE04.pdf>
- [41] ISO, “ISO 3834-1:2021 - Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements,” in *ISO 3834-1:2021*, Edición 3., 2021. Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/81650.html>
- [42] K.-J. Bathe, *Finite Element Procedures*. New Jersey: Prentice-Hall, 1996.
- [43] E. Salazar and E. Codina, “CAPACIDAD DE CARGA DE CILINDROS OLEOHIDRÁULICOS: Norma ISO/TS 13725,” *Scientia et Technica Año XI*, pp. 163–168, Dec. 2005.
- [44] J. A. Collins, H. R. Busby, and G. H. Staab, “Mechanical Design of Machine Elements and Machines: A Failure Prevention Perspective,” Oct. 2009, Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.wiley.com/en-us/Mechanical+Design+of+Machine+Elements+and+Machines%3A+A+Failure+Prevention+Perspective%2C+2nd+Edition-p-9780470413036>
- [45] R. Singh, “Fatigue Failure in Variable Loading.”
- [46] Noria Corporation, “Hydraulic Systems and Fluid Selection - Machinery Lubrication.” Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.machinerylubrication.com/Read/277/hydraulic-systems-fluid>

- [47] IASA, “Aceite hidraulico Aw Hidraulic ISO 68 (Caneca).” Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://iasaglobal.com/ecuador/producto/aceite-hidraulico-aw-hidraulic-iso-68-caneca/>
- [48] Magister Hydraulics, “Magister Hydraulics: Hydraulic Cylinder manufacturer and equipment supplier.” Accessed: Feb. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.magisterhyd.com/?srsltid=AfmBOop22J-3T6n-vbA3YA0-vxIT6lAcY7--oZQDC9u7TFq0zS37meay>
- [49] Hydromecanica del Ecuador S.A, “Hydromecanica del Ecuador S.A.” Accessed: Feb. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.hydromecanica.com/>
- [50] Delta Power Company, “Homepage - Delta Power Company.” Accessed: Feb. 12, 2025. [Online]. Available: <https://delta-power.com/>
- [51] SIEMENS ECUADOR, “Lista de Precios Productos Industriales.”
- [52] SIKO-GLOBAL, “Sensors & Positioning Systems | For Industry & Mechanical Engineering.” Accessed: Feb. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.siko-global.com/en/>
- [53] MICROS, “u’s MICROS.” Accessed: Feb. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.micros.com.pl/en/>
- [54] Winters, “Winters Instruments: Manufacturer of Industrial Instrumentation.” Accessed: Feb. 12, 2025. [Online]. Available: <https://winters.com/>
- [55] MOUSER ELECTRONICS, “LS150-24 TDK-Lambda | Mouser Ecuador.” Accessed: Feb. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.mouser.ec/ProductDetail/TDK-Lambda/LS150-24?qs=m5ogiX%2FFX43migJtH2ham4A%3D%3D>
- [56] Marriott Tienda Online, “Breaker enchufable 3P-20A Schneider.” Accessed: Feb. 12, 2025. [Online]. Available: [https://almacenesmarriott.com/producto/breaker-enchuf-3p-20a-qa320vsc6-schneider/?srsltid=AfmBOoqVob3W1MmQE9QAIRb-tpBkowrXwWrCm0R8ydjnhMmg3V\\_ABJV5](https://almacenesmarriott.com/producto/breaker-enchuf-3p-20a-qa320vsc6-schneider/?srsltid=AfmBOoqVob3W1MmQE9QAIRb-tpBkowrXwWrCm0R8ydjnhMmg3V_ABJV5)
- [57] Lifting Equipment Store, “Container Lifting Jacks.” Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://liftingequipmentstore.com/products/container-lifting-jacks>
- [58] Beijing Yuanda Heavy Machinery Equipment, “40t 1.6m Hydraulic Lifting Jack System For Shipping Container Lifting Jack For Shipping Containers .” Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/40T-1-6M-hydraulic-lifting-jack\\_11000015751704.html?spm=a2700.7724857.0.0.33c465ccX7j8UJ](https://www.alibaba.com/product-detail/40T-1-6M-hydraulic-lifting-jack_11000015751704.html?spm=a2700.7724857.0.0.33c465ccX7j8UJ)

## **Apéndices**

## Apéndice A

### Programación LADDER del sistema

El programa se desarrolló en TIA Portal V16. A continuación se detalla la programación de cada bloque de programación y su lista de variables empleadas, así como el programa principal (*main*).

**Tabla A.1**

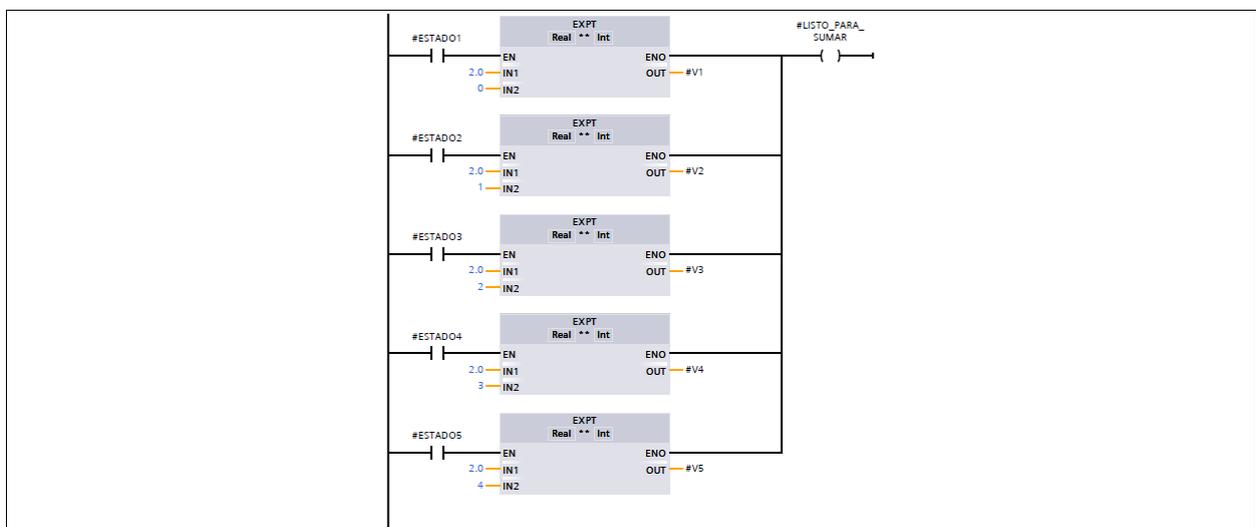
*Bloque de programación CONVERTIDOR-BOOLtoINT: Lista de variables*

Name	Data type	Default value	Retain
▼ Input			
ESTADO1	Bool	false	Non-retain
ESTADO2	Bool	false	Non-retain
ESTADO3	Bool	false	Non-retain
ESTADO4	Bool	false	Non-retain
ESTADO5	Bool	false	Non-retain
▼ Output			
ESTADO	Int	0	Non-retain
InOut			
Static			
▼ Temp			
V1	Real		
V2	Real		
V3	Real		
V4	Real		
V5	Real		
SUMA	Real		
LISTO_PARA_SUMAR	Bool		
Constant			

**Figura A.1**

*Bloque de programación CONVERTIDOR-BOOLtoINT: Programa*

Network 1: SACAR EXPONENCIALES DE LOS BITS PARA LUEGO SUMARLOS



## Network 2: SUMAR PARA CONSEGUIR EL VALORO EN ENTERO

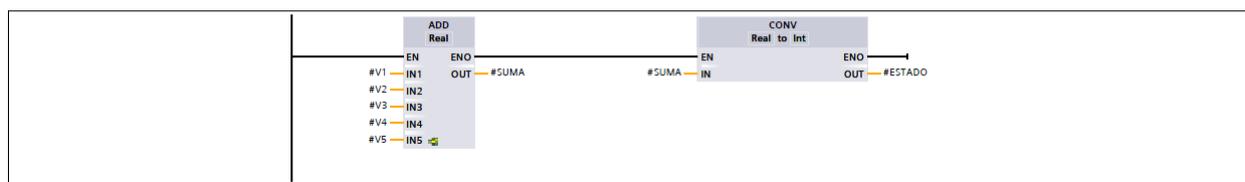


Tabla A.2

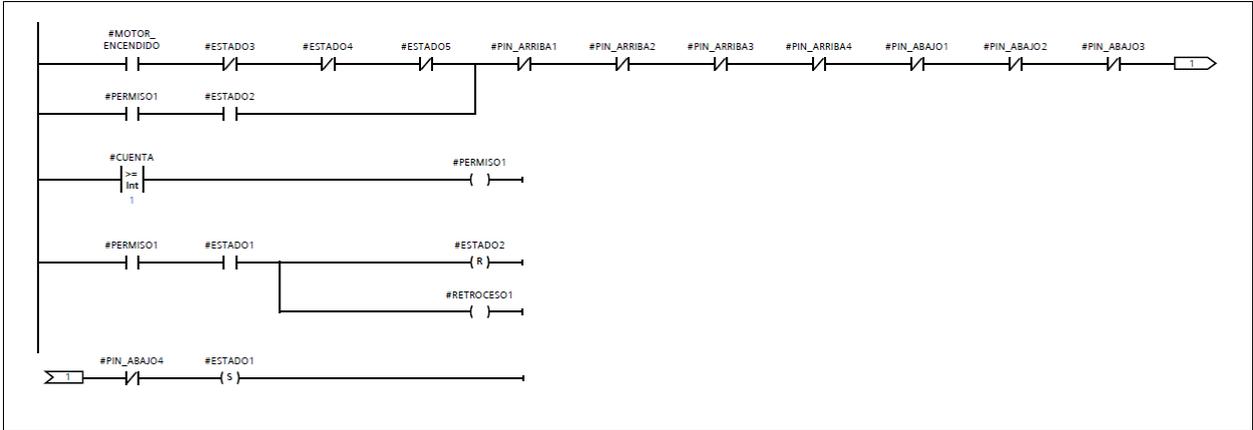
Bloque de programación LOGICA\_CAMBIOESTADOS: Lista de variables

Name	Data type	Default value	Retain
▼ Input			
RESET_1	Bool	false	Non-retain
MOTOR_ENCENDIDO	Bool	false	Non-retain
PIN_ARRIBA1	Bool	false	Non-retain
PIN_ARRIBA2	Bool	false	Non-retain
PIN_ARRIBA3	Bool	false	Non-retain
PIN_ARRIBA4	Bool	false	Non-retain
PIN_ABAJO1	Bool	false	Non-retain
PIN_ABAJO2	Bool	false	Non-retain
PIN_ABAJO3	Bool	false	Non-retain
PIN_ABAJO4	Bool	false	Non-retain
PIN_SEGURIDAD1	Bool	false	Non-retain
PIN_SEGURIDAD2	Bool	false	Non-retain
PIN_SEGURIDAD3	Bool	false	Non-retain
PIN_SEGURIDAD4	Bool	false	Non-retain
▼ Output			
ESTADO	Int	0	Non-retain
InOut			
▼ Static			
ESTADO1	Bool	false	Non-retain
ESTADO2	Bool	false	Non-retain
ESTADO3	Bool	false	Non-retain
ESTADO4	Bool	false	Non-retain
ESTADO5	Bool	false	Non-retain
CUENTA	Int	0	Non-retain
AVANCE1	Bool	false	Non-retain
AVANCE2	Bool	false	Non-retain
AVANCE3	Bool	false	Non-retain
AVANCE4	Bool	false	Non-retain
RETROCESO1	Bool	false	Non-retain
RETROCESO2	Bool	false	Non-retain
RETROCESO3	Bool	false	Non-retain
RETROCESO4	Bool	false	Non-retain
PERMISO1	Bool	false	Non-retain
PERMISO2	Bool	false	Non-retain
PERMISO3	Bool	false	Non-retain
PERMISO4	Bool	false	Non-retain
Temp			
Constant			

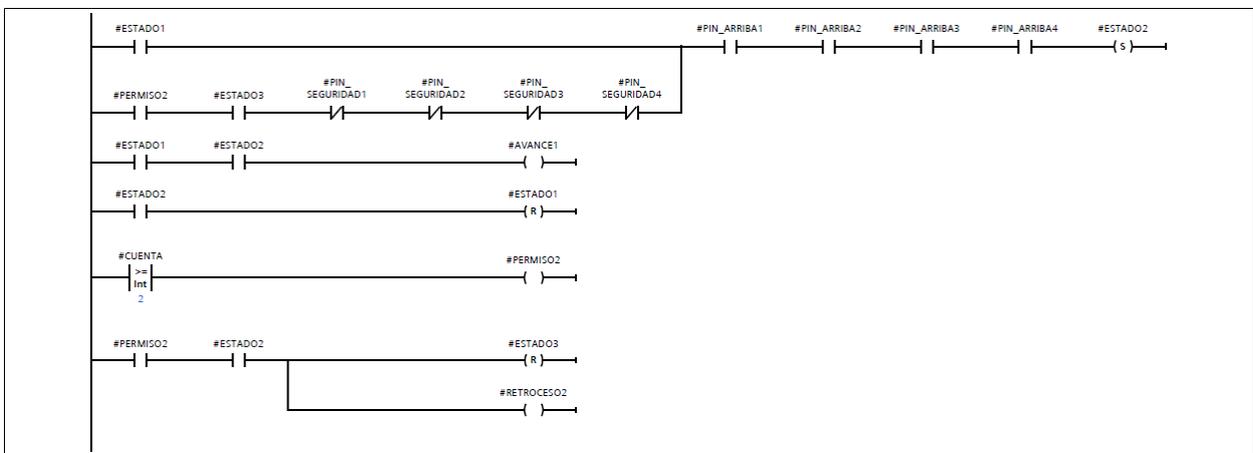
**Figura A.2**

*Bloque de programación LOGICA\_CAMBIOESTADOS: Programa*

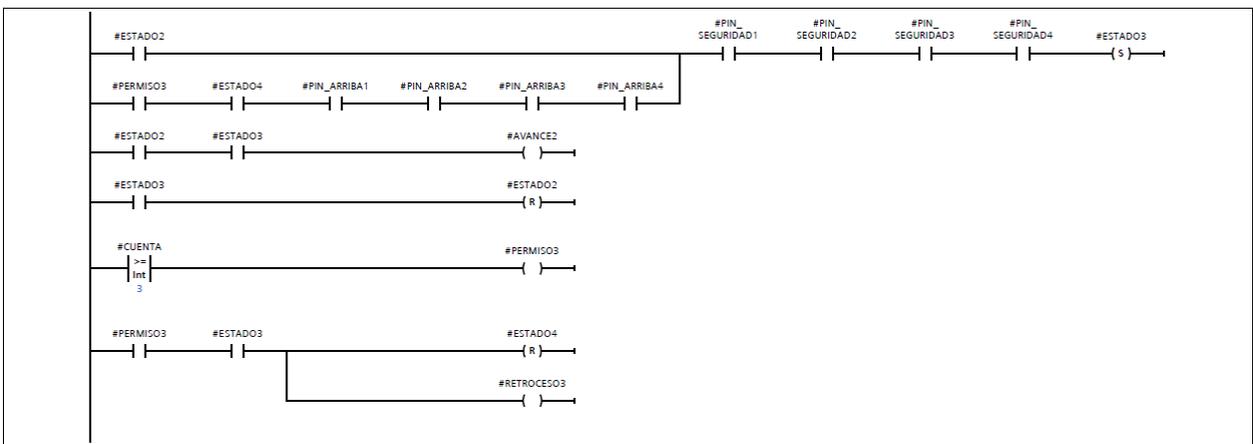
**Network 1: ESTADO1: CAMISA ABAJO Y CILINDRO LIBRE**



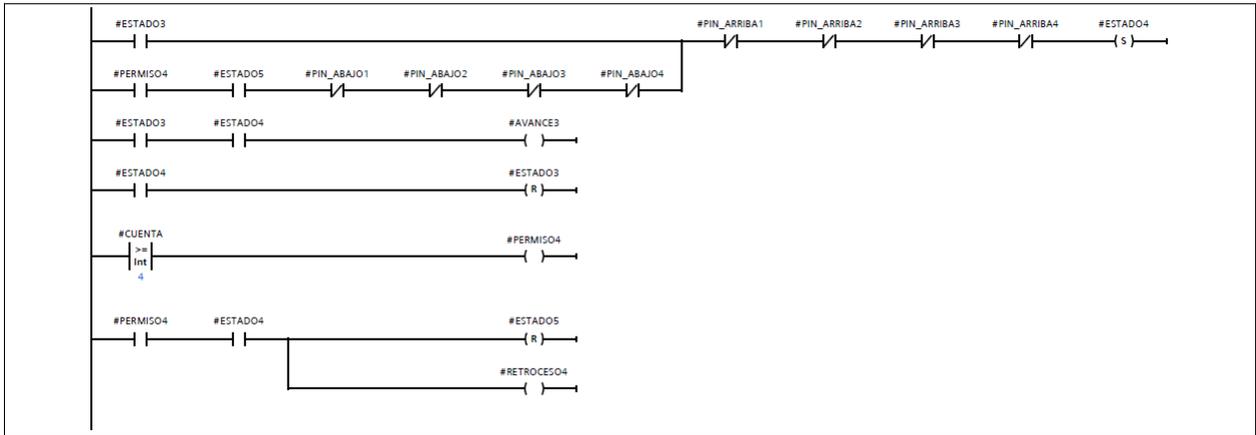
**Network 2: ESTADO 2: CAMISA Y CILINDRO SE MUEVEN JUNTOS DE 0-813 mm**



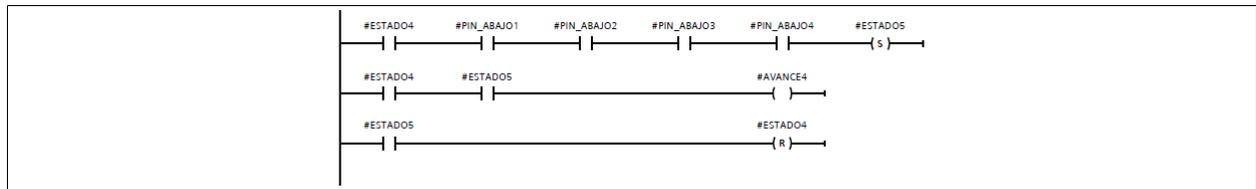
**Network 3: ESTADO 3: PIN ARRIBA Y PIN DE SEGURIDAD MISMO TIEMPO: NO SE DEBE PERMITIR BAJAR**



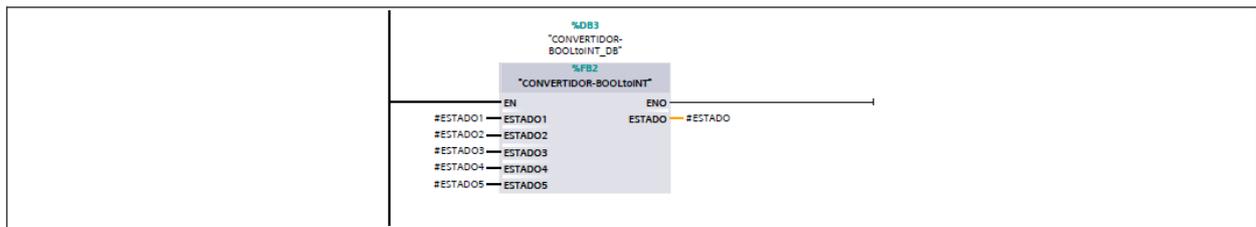
Network 4: ESTADO 4: SOLO PIN DE SEGURIDAD ACTIVO



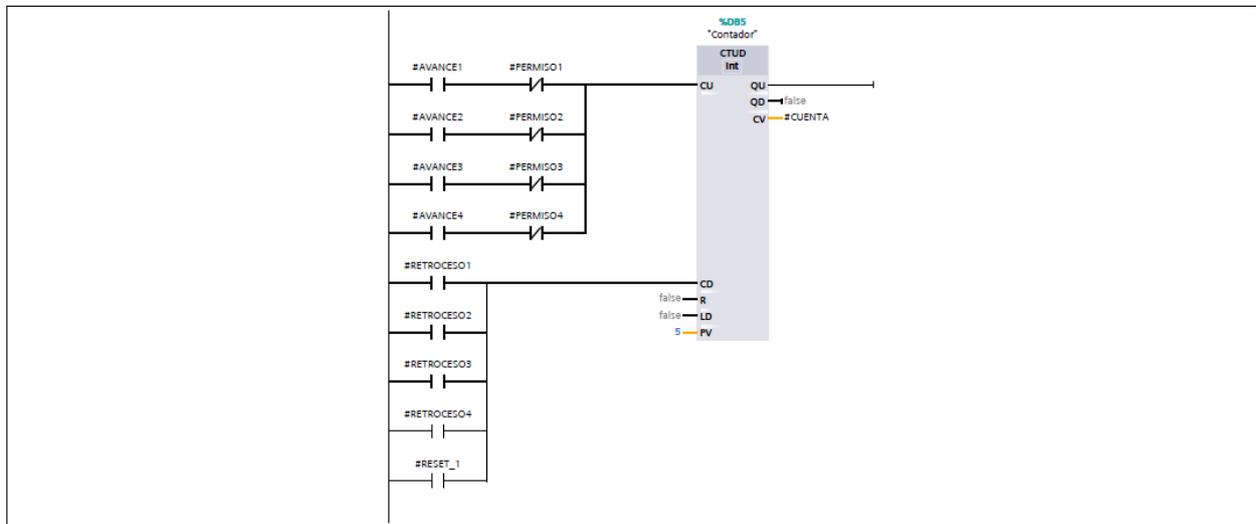
Network 5: ESTADO 5: CAMISA Y CILINDRO SE MUEVEN JUNTOS (813-1626 mm)



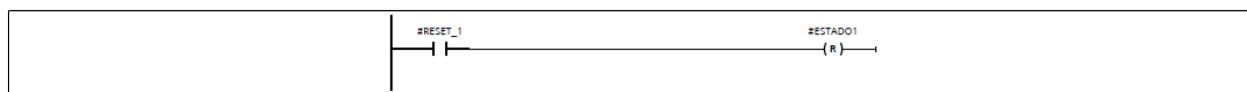
Network 6: CONVERSION DE LOS 5 BITS A INT



Network 7:



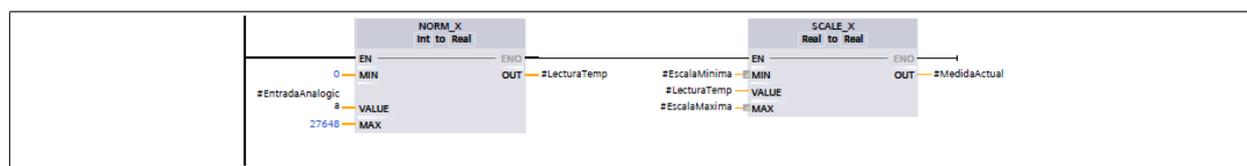
Network 8:

**Tabla A.3***Bloque de programación LecturaEntradaAnalogica: Lista de variables*

Name	Data type	Default value	Retain
▼ Input			
EntradaAnalogica	Int	0	Non-retain
EscalaMaxima	Int	0	Non-retain
EscalaMinima	Int	0	Non-retain
▼ Output			
MedidaActual	Real	0.0	Non-retain
InOut			
Static			
▼ Temp			
LecturaTemp	Real		
Constant			

**Figura A.3***Bloque de programación LecturaEntradaAnalogica: Programa*

Network 1:

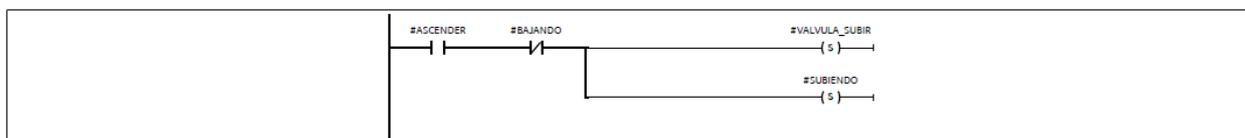
**Tabla A.4***Bloque de programación ASCENDERyDESCENDER: Lista de variables*

Name	Data type	Default value	Retain
▼ Input			
ASCENDER	Bool	false	Non-retain
DESCENDER	Bool	false	Non-retain
REINICIO	Bool	false	Non-retain
PARAR	Bool	false	Non-retain
▼ Output			
VALVULA_SUBIR	Bool	false	Non-retain
VALVULA_BAJAR	Bool	false	Non-retain
InOut			
▼ Static			
SUBIENDO	Bool	false	Non-retain
BAJANDO	Bool	false	Non-retain
Temp			
Constant			

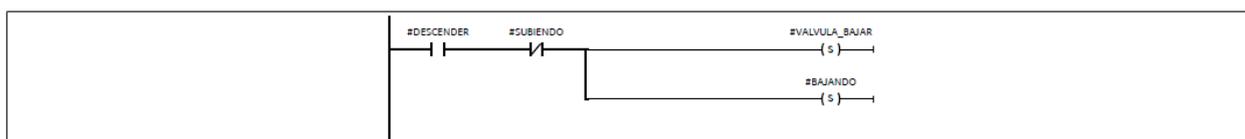
**Figura A.4**

Bloque de programación ASCENDERyDESCENDER: Programa

Network 1:



Network 2:



Network 3:

**Tabla A.5**

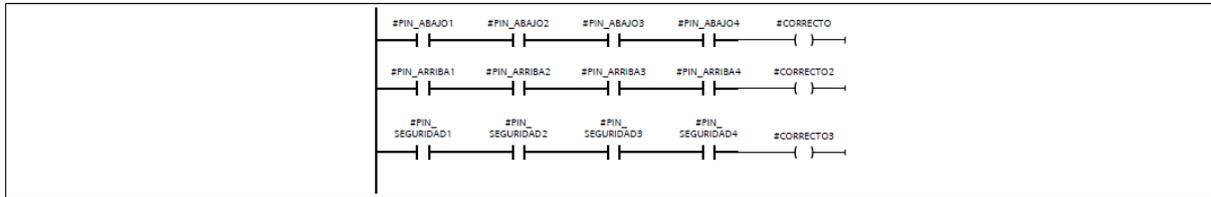
Bloque de programación COMPROBAR\_EJES: Lista de variables

Name	Data type	Default value	Retain
▼ Input			
PIN_ARRIBA1	Bool	false	Non-retain
PIN_ARRIBA2	Bool	false	Non-retain
PIN_ARRIBA3	Bool	false	Non-retain
PIN_ARRIBA4	Bool	false	Non-retain
PIN_ABAJO1	Bool	false	Non-retain
PIN_ABAJO2	Bool	false	Non-retain
PIN_ABAJO3	Bool	false	Non-retain
PIN_ABAJO4	Bool	false	Non-retain
PIN_SEGURIDAD1	Bool	false	Non-retain
PIN_SEGURIDAD2	Bool	false	Non-retain
PIN_SEGURIDAD3	Bool	false	Non-retain
PIN_SEGURIDAD4	Bool	false	Non-retain
▼ Output			
EJES_CORRECTOS	Bool	false	Non-retain
InOut			
▼ Static			
CORRECTO	Bool	false	Non-retain
CORRECTO2	Bool	false	Non-retain
CORRECTO3	Bool	false	Non-retain
VALOR1	Int	0	Non-retain
VALOR2	Int	0	Non-retain
VALOR3	Int	0	Non-retain
VALOR4	Int	0	Non-retain
VALOR5	Int	0	Non-retain
VALOR6	Int	0	Non-retain
VALOR7	Int	0	Non-retain
VALOR8	Int	0	Non-retain
VALOR_TOTAL	Int	0	Non-retain
▼ Temp			
1EROPCION	Bool		
Constant			

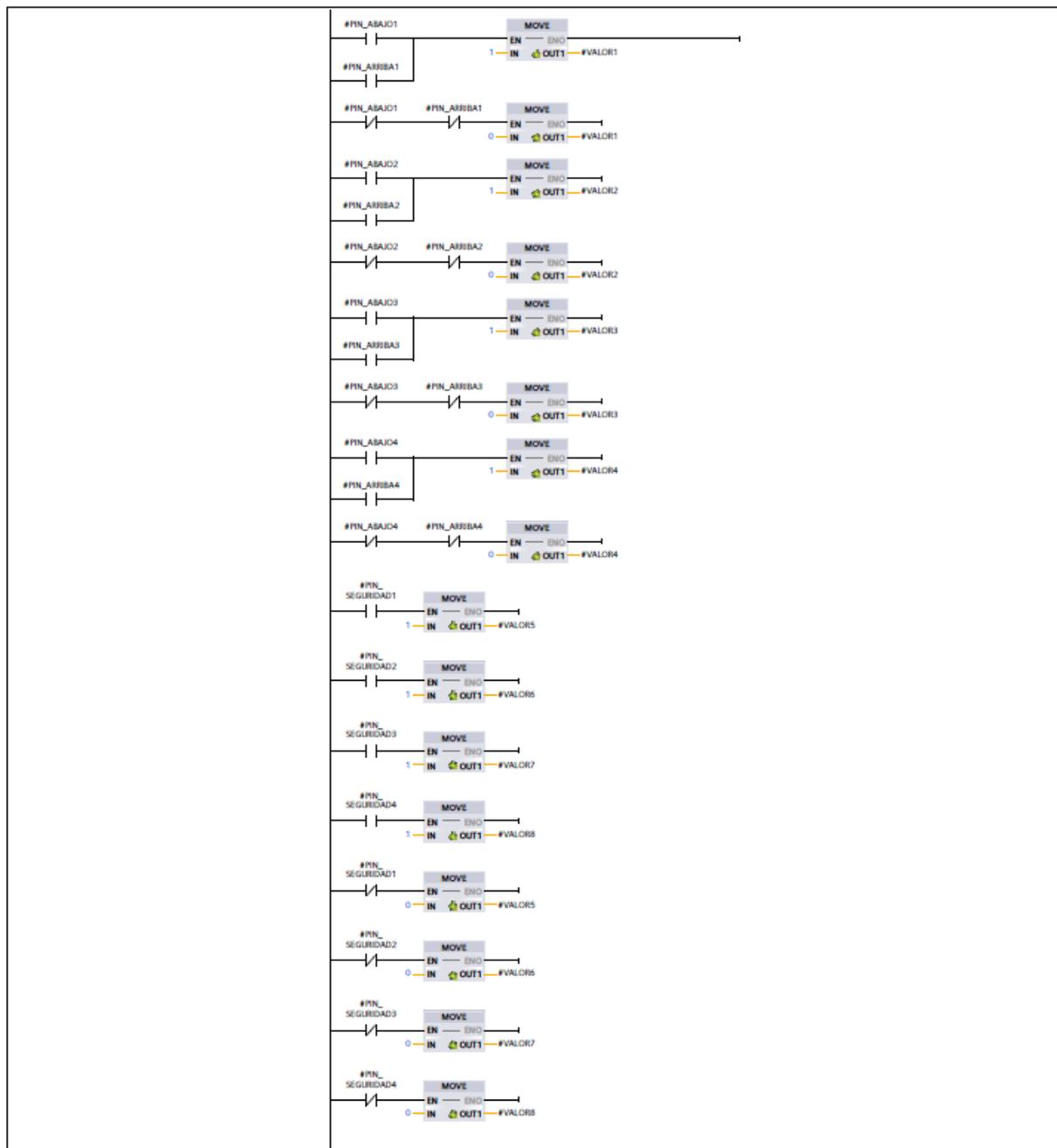
**Figura A.5**

*Bloque de programación COMPROBAR\_EJES: Programa*

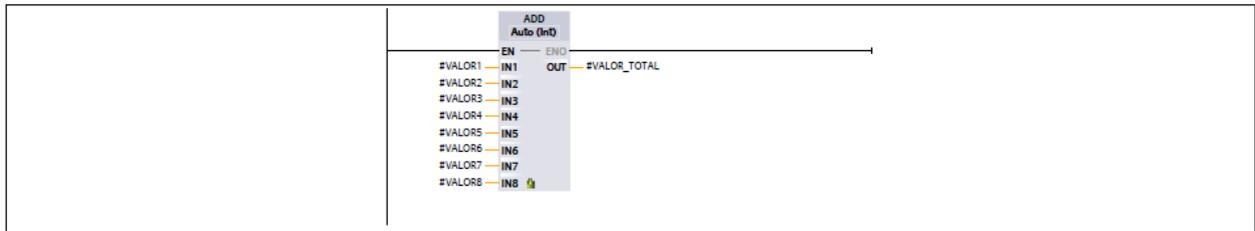
Network 1:



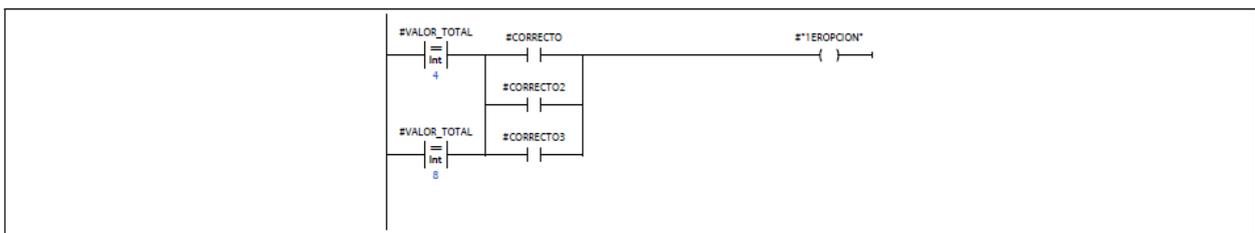
Network 2:



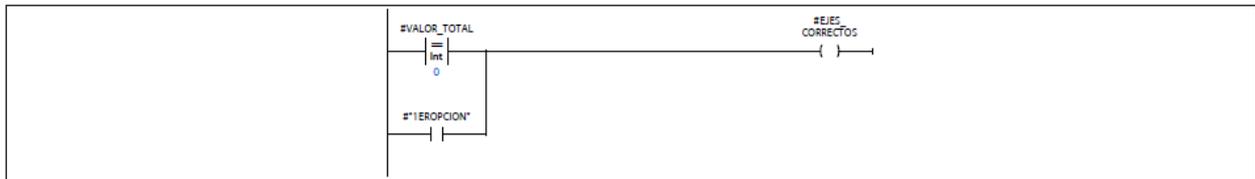
Network 3:



Network 4:



Network 5:



**Tabla A.6**

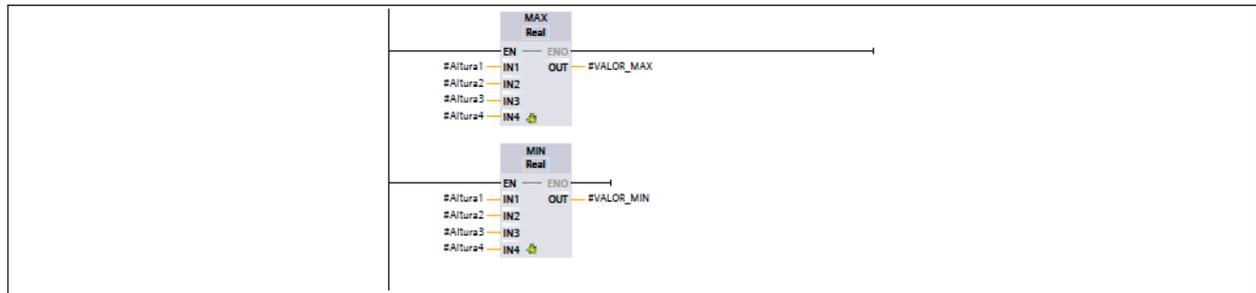
*Bloque de programación VERIFICAR\_SINCRONIZACION: Lista de variables*

Name	Data type	Default value	Retain
▼ Input			
Altura1	Real	0.0	Non-retain
Altura2	Real	0.0	Non-retain
Altura3	Real	0.0	Non-retain
Altura4	Real	0.0	Non-retain
▼ Output			
SINCRONIZADO	Bool	false	Non-retain
InOut			
Static			
▼ Temp			
VALOR_MAX	Real		
VALOR_MIN	Real		
RESTA	Real		
Constant			

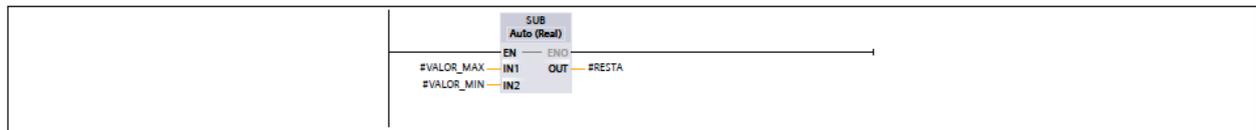
**Figura A.6**

*Bloque de programación VERIFICAR\_SINCRONIZACION: Programa*

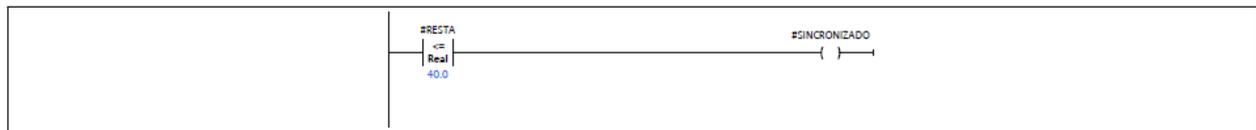
Network 1:



Network 2:



Network 3:



**Tabla A.7**

*Bloque de programación LECTURA\_NIVEL\_CILINDROS: Lista de variables*

Name	Data type	Default value	Retain
▼ Input			
LecturaAnalogica1	Int	0	Non-retain
LecturaAnalogica2	Int	0	Non-retain
LecturaAnalogica3	Int	0	Non-retain
LecturaAnalogica4	Int	0	Non-retain
▼ Output			
NivelCilindro1	Real	0.0	Non-retain
NivelCilindro2	Real	0.0	Non-retain
NivelCilindro3	Real	0.0	Non-retain
NivelCilindro4	Real	0.0	Non-retain
InOut			
Static			
Temp			
Constant			

Figura A.7

Bloque de programación LECTURA\_NIVEL\_CILINDROS: Programa

Network 1:

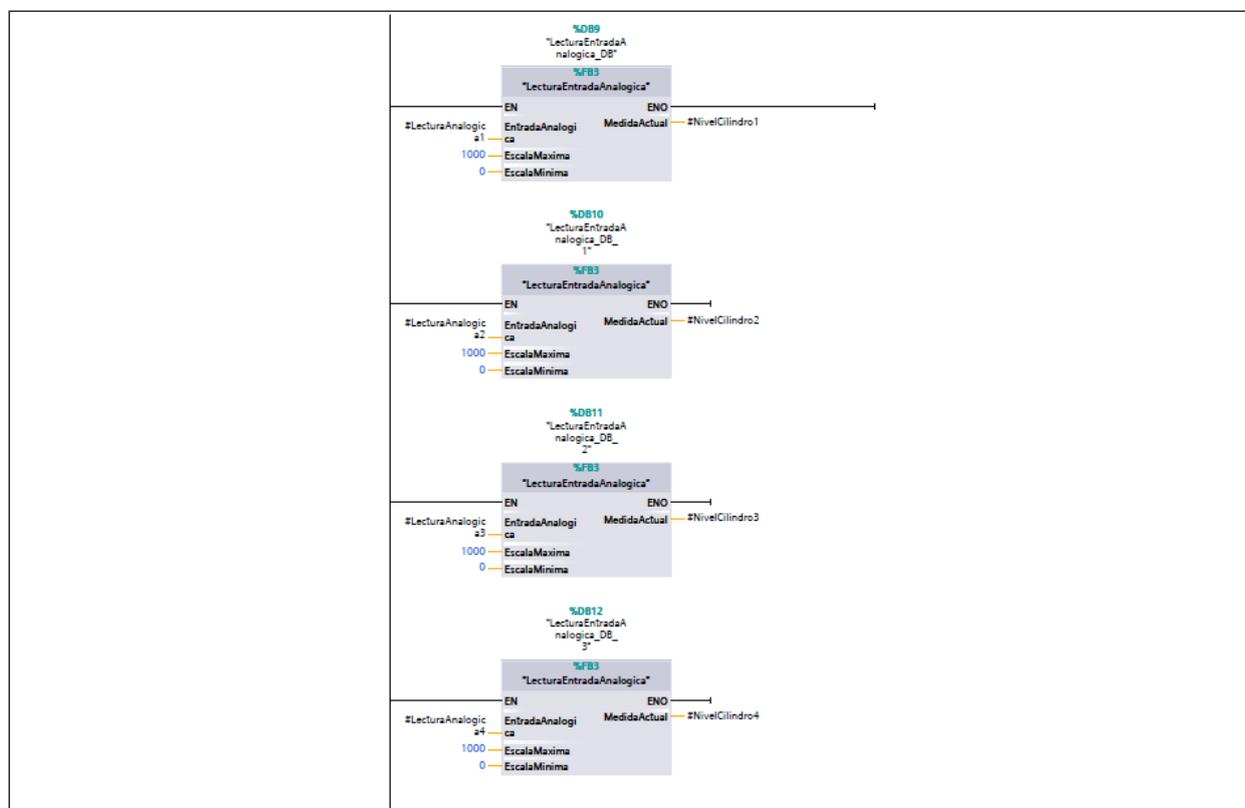


Tabla A.8

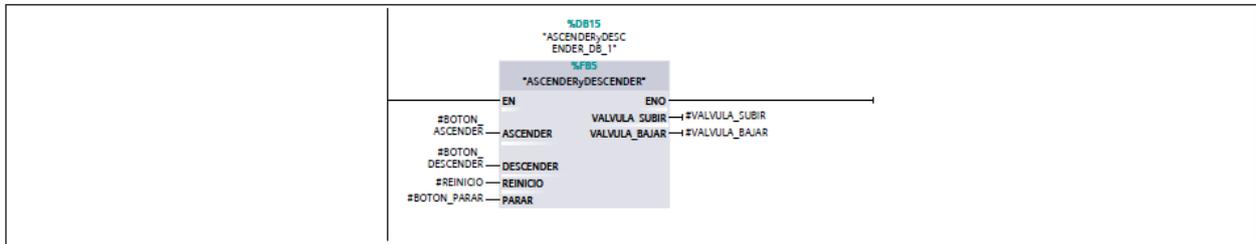
Bloque de programación SIMULAR\_SUBIDAS\_Y\_BAJADAS: Lista de variables

Name	Data type	Default value	Retain
▼ Input			
BOTON_ASCENDER	Bool	false	Non-retain
BOTON_DESCENDER	Bool	false	Non-retain
REINICIO	Bool	false	Non-retain
BOTON_PARAR	Bool	false	Non-retain
SIMULAR_DESNIVEL	Bool	false	Non-retain
▼ Output			
CUENTA1	Int	0	Non-retain
CUENTA2	Int	0	Non-retain
CUENTA3	Int	0	Non-retain
CUENTA4	Int	0	Non-retain
InOut			
▼ Static			
VALVULA_SUBIR	Bool	false	Non-retain
VALVULA_BAJAR	Bool	false	Non-retain
CARRERA_MAXIMA	Bool	false	Non-retain
ENCERADO	Bool	false	Non-retain
TRANSCURRIDO_TIEMPO	Bool	false	Non-retain
CUENTA	Int	0	Non-retain
Temp			
Constant			

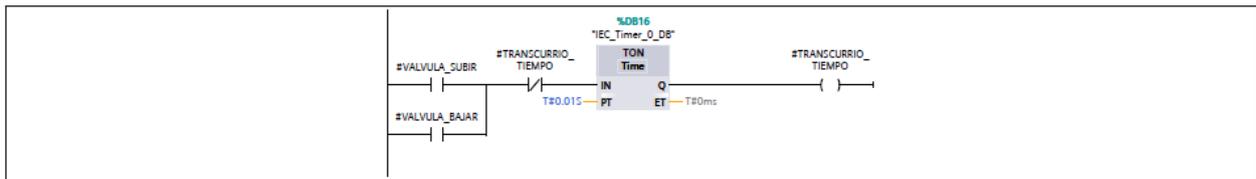
**Figura A.8**

*Bloque de programación SIMULAR\_SUBIDAS\_Y\_BAJADAS: Programa*

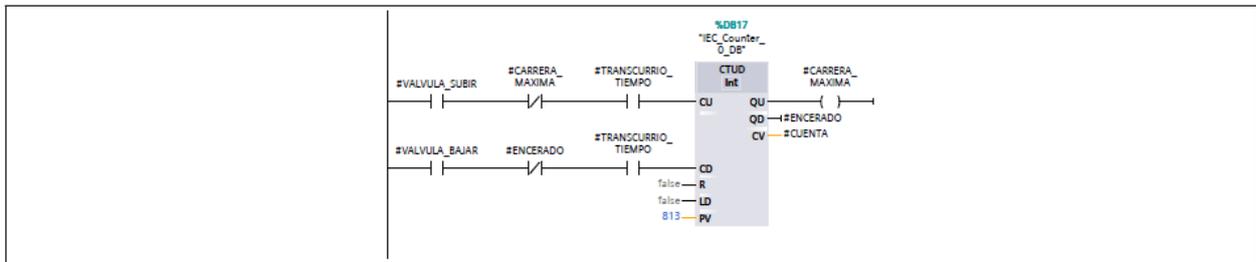
Network 1:



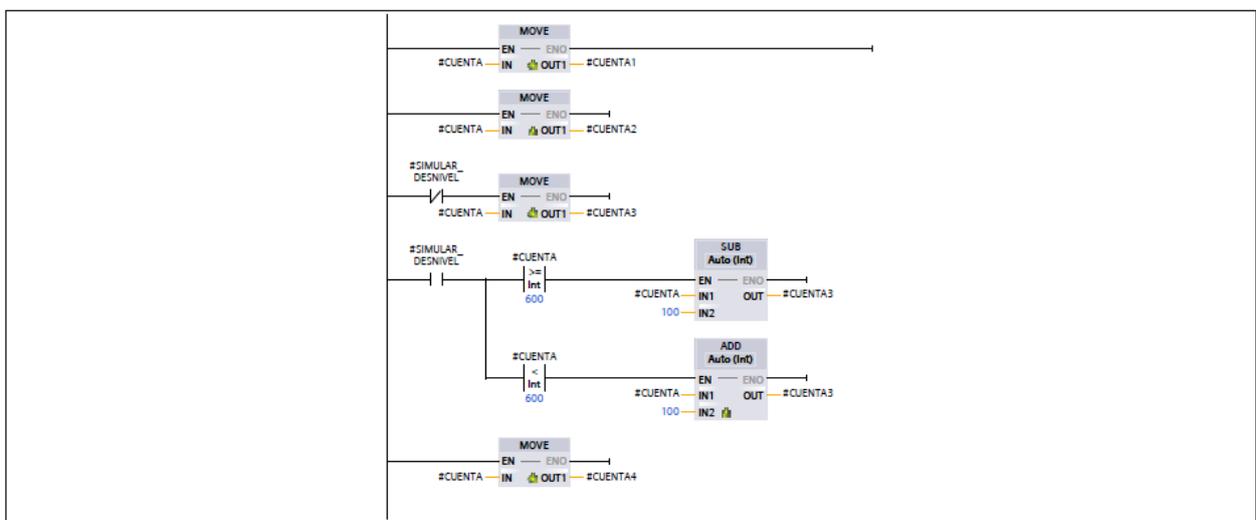
Network 2:



Network 3:



Network 4:



**Tabla A.9**

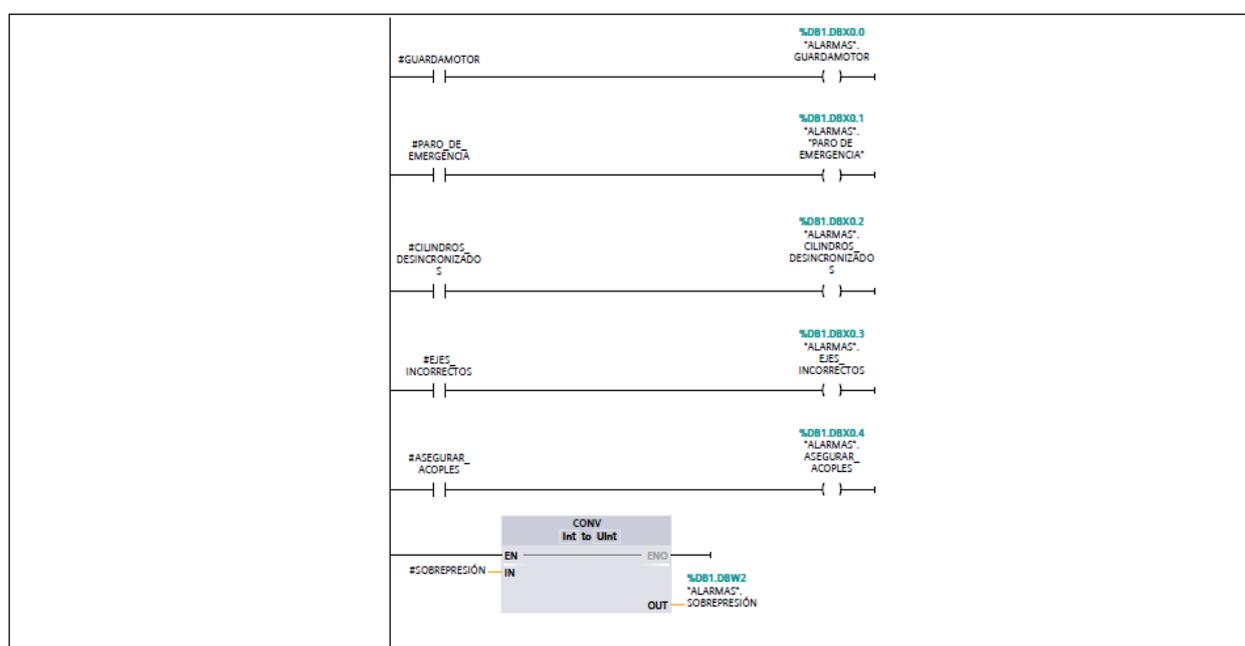
*Bloque de programación DEFINIR\_ALARMAS: Lista de variables*

Name	Data type	Default value
▼ Input		
GUARDAMOTOR	Bool	
PARO_DE_EMERGENCIA	Bool	
CILINDROS_DESINCROIZADOS	Bool	
EJES_INCORRECTOS	Bool	
ASEGURAR_ACOPLER	Bool	
SOBREPRESIÓN	Int	
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
DEFINIR_ALARMAS	Void	

**Figura A.9**

*Bloque de programación DEFINIR\_ALARMAS: Programa*

Network 1:



Por último, se detalla la lista de variables de todo el programa, incluido las entradas y salidas físicas del PLC.

Figura A.10

Lista de variables (entradas y salidas del PLC 1)

PLC tags			
Icon	Name	Data type	Address
	ACOPLES_ASEGURADOS	Bool	%M9.0
	ACOPLES_EQILIBRADOS	Bool	%M9.1
	ALTURA_CONTENEDOR	Int	%MW136
	ALTURA_CONTENEDOR2	Int	%MW138
	ALTURA_CONTENEDOR3	Int	%MW140
	ALTURA_CONTENEDOR4	Int	%MW142
	ALTURA_CONTENEDOR_PROM	Int	%MW144
	AlwaysFALSE	Bool	%M100.3
	AlwaysTRUE	Bool	%M100.2
	ASCENDER_TEMP	Bool	%M8.5
	BOTON_ASCENDER	Bool	%M0.0
	BOTON_DESCENDER	Bool	%M0.1
	BOTON_PARAR	Bool	%M6.0
	BOTON_PARAR_TEMP	Bool	%M8.0
	CILINDROS_SINCRONIZADOS	Bool	%M8.3
	Clock_0.5Hz	Bool	%M101.7
	Clock_0.625Hz	Bool	%M101.6
	Clock_1.25Hz	Bool	%M101.4
	Clock_1Hz	Bool	%M101.5
	Clock_2.5Hz	Bool	%M101.2
	Clock_2Hz	Bool	%M101.3
	Clock_5Hz	Bool	%M101.1
	Clock_10Hz	Bool	%M101.0
	Clock_Byte	Byte	%MB101
	CUENTA1	Int	%MW170
	CUENTA2	Int	%MW180
	CUENTA3	Int	%MW182
	CUENTA4	Int	%MW184
	CUENTA_ANIMACION	Int	%MW16
	CUENTA_ANIMACION2	Int	%MW20
	CUENTA_FINALIZADA	Bool	%M10.5
	CUENTA_FINALIZADA2	Bool	%M18.0
	DESCENDER_TEMP	Bool	%M8.6
	DiagStatusUpdate	Bool	%M100.1
	EJES_CORRECTOS	Bool	%M8.2
	ESTADO_GENERAL	Int	%MW4
	FIN_ANIMACION	Bool	%M18.5
	FirstScan	Bool	%M100.0
	HABILITAR_LEVANTAMIENTO	Bool	%M8.4
	LACOPLE_ASEGURADO1	Bool	%I1.1
	LACOPLE_ASEGURADO2	Bool	%I1.5
	LACOPLE_ASEGURADO3	Bool	%I1.5
	LACOPLE_ASEGURADO4	Bool	%I8.3
	L_GUARDAMOTOR	Bool	%I0.1
	L_PARO_EMERGENCIA	Bool	%I0.0
	L_PIN_ABAJO1	Bool	%I0.3
	L_PIN_ABAJO2	Bool	%I0.7
	L_PIN_ABAJO3	Bool	%I1.3
	L_PIN_ABAJO4	Bool	%I8.1
	L_PIN_ARRIBA1	Bool	%I0.2
	L_PIN_ARRIBA2	Bool	%I0.6
	L_PIN_ARRIBA3	Bool	%I1.2
	L_PIN_ARRIBA4	Bool	%I8.0
	L_PIN_SEGURIDAD1	Bool	%I0.4
	L_PIN_SEGURIDAD2	Bool	%I1.0
	L_PIN_SEGURIDAD3	Bool	%I1.4
	L_PIN_SEGURIDAD4	Bool	%I8.2
	L_POS1	Int	%MW128
	L_POS2	Int	%MW130

Figura A.11

Lista de variables (entradas y salidas del PLC 2)

Icon	Name	Data type	Address
	L_POS3	Int	%W132
	L_POS4	Int	%W134
	L_PRESION_SIST	Int	%W54
	IMAGEN1_NITIDA	Bool	%M10.1
	IMAGEN2_NITIDA	Bool	%M10.2
	IMAGEN3_NITIDA	Bool	%M10.3
	IMAGEN3_NUBLADA	Bool	%M10.4
	IMAGEN_SOPORTE1	Bool	%M18.3
	IMAGEN_SOPORTE2	Bool	%M18.1
	IMAGEN_SOPORTE3	Bool	%M18.2
	INICIO_PANTALLA	Bool	%M18.6
	INT_Nivel_Cilindro1	Int	%MW146
	INT_Nivel_Cilindro1 REAL	Int	%MW172
	INT_Nivel_Cilindro2	Int	%MW148
	INT_Nivel_Cilindro2 REAL	Int	%MW174
	INT_Nivel_Cilindro3	Int	%MW150
	INT_Nivel_Cilindro3 REAL	Int	%MW176
	INT_Nivel_Cilindro4	Int	%MW152
	INT_Nivel_Cilindro4 REAL	Int	%MW178
	Nivel_Cilindro1	Real	%MD154
	Nivel_Cilindro2	Real	%MD158
	Nivel_Cilindro3	Real	%MD162
	Nivel_Cilindro4	Real	%MD166
	NUMERO_PANTALLA	Int	%MW14
	OPCION1_A	Bool	%M9.3
	OPCION1_B	Bool	%M9.6
	OPCION2_A	Bool	%M9.4
	OPCION2_B	Bool	%M9.7
	OPCION3_A	Bool	%M9.5
	OPCION3_B	Bool	%M10.0
	PANTALLA1	Bool	%M16.0
	POSICION_CAMION_CONTENEDOR	Int	%MW10
	POSICION_CAMION_SIN	Int	%MW12
	PRESSION_SIST	Int	%MW22
	Q_ASCENDER	Bool	%Q0.1
	Q_DESCENDER	Bool	%Q0.2
	Q_XM1	Bool	%Q0.0
	REINICIO	Bool	%M8.7
	RESET	Bool	%M0.4
	SIMULAR	Bool	%M2.0
	SIMULAR_DESNIVEL	Bool	%M8.1
	START_MOTOR	Bool	%M0.2
	STOP_MOTOR	Bool	%M0.3
	System_Byte	Byte	%MB100
	VERIFICAR_ACOPLES	Bool	%M18.4
	VERIFICAR_SISTEMA_ARRANQUE	Bool	%M9.2

Figura A.12

Lista de variables (entradas y salidas del PLC 3)

PLC tags			
Icon	Name	Data type	Address
	ACOPLES_ASEGURADOS	Bool	%M9.0
	ACOPLES_EQILIBRADOS	Bool	%M9.1
	ALTURA_CONTENEDOR	Int	%MW136
	ALTURA_CONTENEDOR2	Int	%MW138
	ALTURA_CONTENEDOR3	Int	%MW140
	ALTURA_CONTENEDOR4	Int	%MW142
	ALTURA_CONTENEDOR_PROM	Int	%MW144
	AlwaysFALSE	Bool	%M100.3
	AlwaysTRUE	Bool	%M100.2
	ASCENDER_TEMP	Bool	%M8.5
	BOTON_ASCENDER	Bool	%M0.0
	BOTON_DESCENDER	Bool	%M0.1
	BOTON_PARAR	Bool	%M6.0
	BOTON_PARAR_TEMP	Bool	%M8.0
	CILINDROS_SINCRONIZADOS	Bool	%M8.3
	Clock_0.5Hz	Bool	%M101.7
	Clock_0.625Hz	Bool	%M101.6
	Clock_1.25Hz	Bool	%M101.4
	Clock_1Hz	Bool	%M101.5
	Clock_2.5Hz	Bool	%M101.2
	Clock_2Hz	Bool	%M101.3
	Clock_5Hz	Bool	%M101.1
	Clock_10Hz	Bool	%M101.0
	Clock_Byte	Byte	%MB101
	CUENTA1	Int	%MW170
	CUENTA2	Int	%MW180
	CUENTA3	Int	%MW182
	CUENTA4	Int	%MW184
	CUENTA_ANIMACION	Int	%MW16
	CUENTA_ANIMACION2	Int	%MW20
	CUENTA_FINALIZADA	Bool	%M10.5
	CUENTA_FINALIZADA2	Bool	%M18.0
	DESCENDER_TEMP	Bool	%M8.6
	DiagStatusUpdate	Bool	%M100.1
	EJES_CORRECTOS	Bool	%M8.2
	ESTADO_GENERAL	Int	%MW4
	FIN_ANIMACION	Bool	%M18.5
	FirstScan	Bool	%M100.0
	HABILITAR_LEVANTAMIENTO	Bool	%M8.4
	LACOPLE_ASEGURADO1	Bool	%I0.5
	LACOPLE_ASEGURADO2	Bool	%I1.1
	LACOPLE_ASEGURADO3	Bool	%I1.5
	LACOPLE_ASEGURADO4	Bool	%I8.3
	L_GUARDAMOTOR	Bool	%I0.1
	L_PARO_EMERGENCIA	Bool	%I0.0
	L_PIN_ABAJO1	Bool	%I0.3
	L_PIN_ABAJO2	Bool	%I0.7
	L_PIN_ABAJO3	Bool	%I1.3
	L_PIN_ABAJO4	Bool	%I8.1
	L_PIN_ARRIBA1	Bool	%I0.2
	L_PIN_ARRIBA2	Bool	%I0.6
	L_PIN_ARRIBA3	Bool	%I1.2
	L_PIN_ARRIBA4	Bool	%I8.0
	L_PIN_SEGURIDAD1	Bool	%I0.4
	L_PIN_SEGURIDAD2	Bool	%I1.0
	L_PIN_SEGURIDAD3	Bool	%I1.4
	L_PIN_SEGURIDAD4	Bool	%I8.2
	L_POS1	Int	%MW128

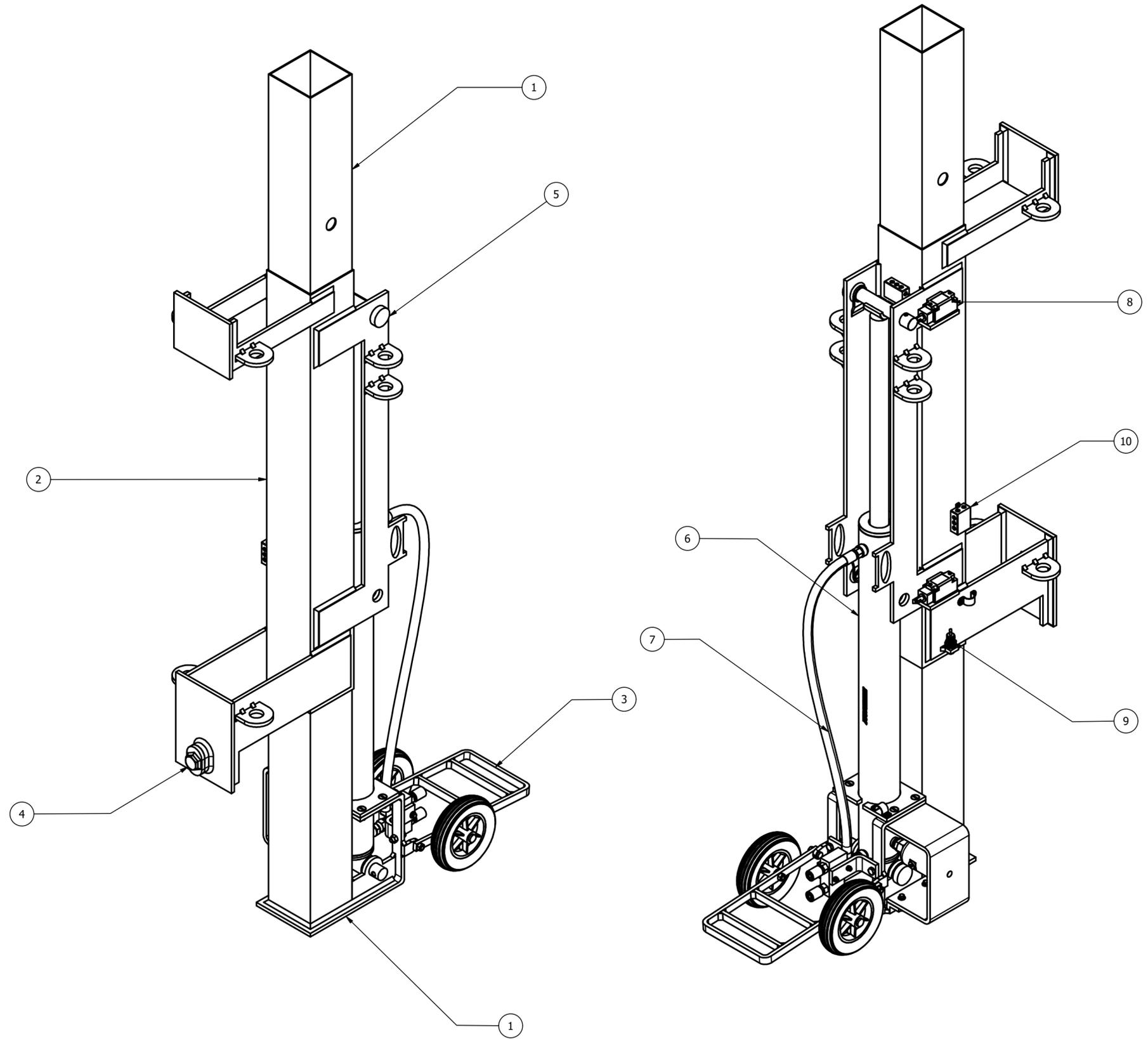
Figura A.13

Lista de variables (entradas y salidas del PLC 4)

Icon	Name	Data type	Address
	L_POS2	Int	%W130
	L_POS3	Int	%W132
	L_POS4	Int	%W134
	L_PRESION_SIST	Int	%W64
	IMAGEN1_NITIDA	Bool	%M10.1
	IMAGEN2_NITIDA	Bool	%M10.2
	IMAGEN3_NITIDA	Bool	%M10.3
	IMAGEN3_NUBLADA	Bool	%M10.4
	IMAGEN_SOPORTE1	Bool	%M18.3
	IMAGEN_SOPORTE2	Bool	%M18.1
	IMAGEN_SOPORTE3	Bool	%M18.2
	INICIO_PANTALLA	Bool	%M18.6
	INT_Nivel_Cilindro1	Int	%MW146
	INT_Nivel_Cilindro1REAL	Int	%MW172
	INT_Nivel_Cilindro2	Int	%MW148
	INT_Nivel_Cilindro2REAL	Int	%MW174
	INT_Nivel_Cilindro3	Int	%MW150
	INT_Nivel_Cilindro3REAL	Int	%MW176
	INT_Nivel_Cilindro4	Int	%MW152
	INT_Nivel_Cilindro4REAL	Int	%MW178
	Nivel_Cilindro1	Real	%MD154
	Nivel_Cilindro2	Real	%MD158
	Nivel_Cilindro3	Real	%MD162
	Nivel_Cilindro4	Real	%MD166
	NUMERO_PANTALLA	Int	%MW14
	OPCION1_A	Bool	%M9.3
	OPCION1_B	Bool	%M9.6
	OPCION2_A	Bool	%M9.4
	OPCION2_B	Bool	%M9.7
	OPCION3_A	Bool	%M9.5
	OPCION3_B	Bool	%M10.0
	PANTALLA1	Bool	%M16.0
	POSICION_CAMION_CONTENEDOR	Int	%MW10
	POSICION_CAMION_SIN	Int	%MW12
	PRESION_SIST	Int	%MW22
	Q_ASCENDER	Bool	%Q0.1
	Q_DESCENDER	Bool	%Q0.2
	Q_KM1	Bool	%Q0.0
	REINICIO	Bool	%M8.7
	RESET	Bool	%M0.4
	SIMULAR	Bool	%M2.0
	SIMULAR_DESNIVEL	Bool	%M8.1
	START_MOTOR	Bool	%M0.2
	STOP_MOTOR	Bool	%M0.3
	System_Byte	Byte	%MB100
	VERIFICAR_ACOFLES	Bool	%M18.4
	VERIFICAR_SISTEMA_ARRANQUE	Bool	%M9.2

**Apéndice B**  
**Planos Mecánicos (PLANOS 1-55)**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

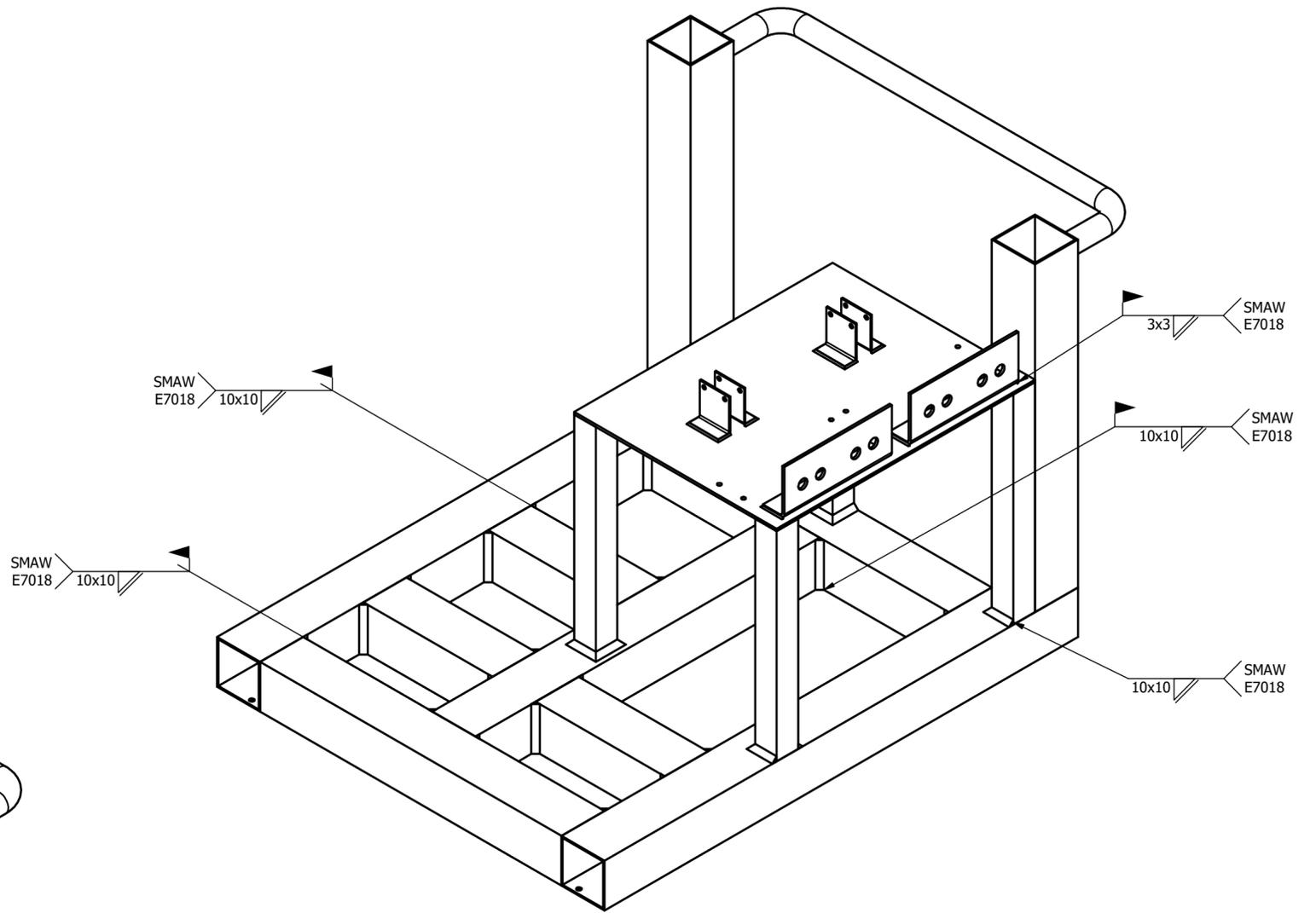
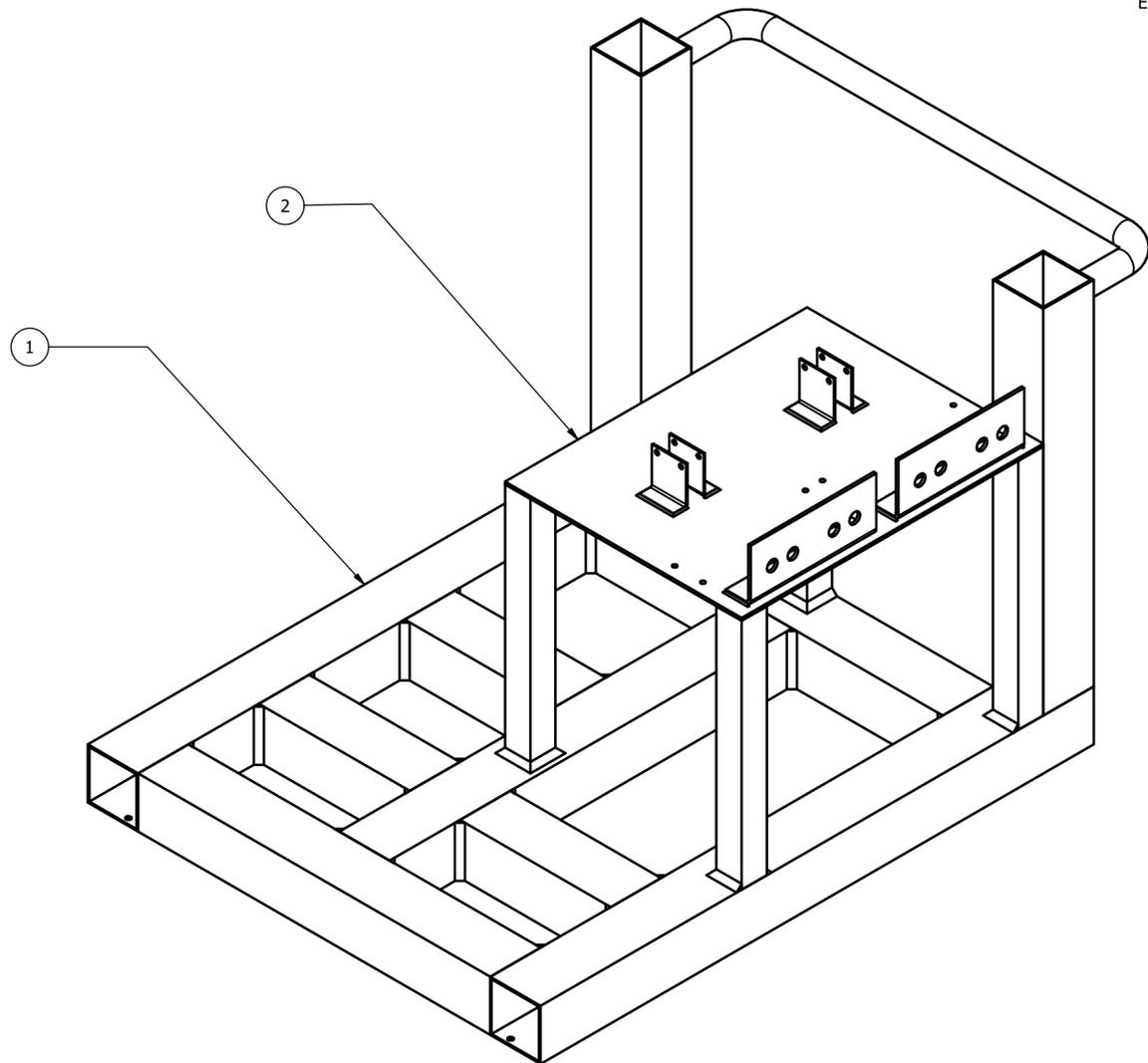
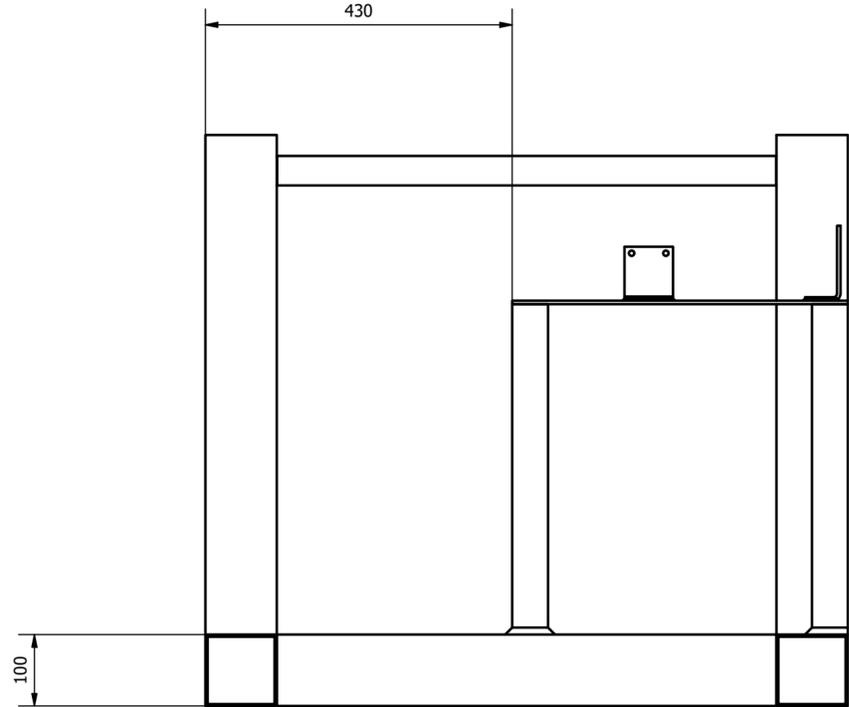


LISTA DE PIEZAS				
No de orden	No de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
1	1	Soporte fijo		-
2	1	Camisa deslizante		-
3	1	Sistema de ruedas		Ruedas de 200 mm de diámetro
4	1	Sistema de acople		Acople de 90° - Perno, tuerca, pasador y topes
5	1	Eje de apoyo superior		Apoyo del cilindro y camisa
6	1	Cilindro hidráulico		-
7	1	Manguera		Conexión entre cilindro y válvula de contrabalanceo
8	2	Sensor de posición		-
9	2	Sensor inductivo		-
10	2	Cajetín de conexiones		-

Tolerancias ± 0.1		(Peso) N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M Y AISI 4340 (705)	
Fecha: 2/2/25		Nombre: INGE2722		Denominación: ESTRUCTURA SOPORTE HIDRÁULICO
Dib. 2/2/25		Rev. INGE2722		Escala: 1:7.5
Apro.		Firma:		Número de dibujo: INGE-2722.001
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)

1 2 3 4 5 6 7 8





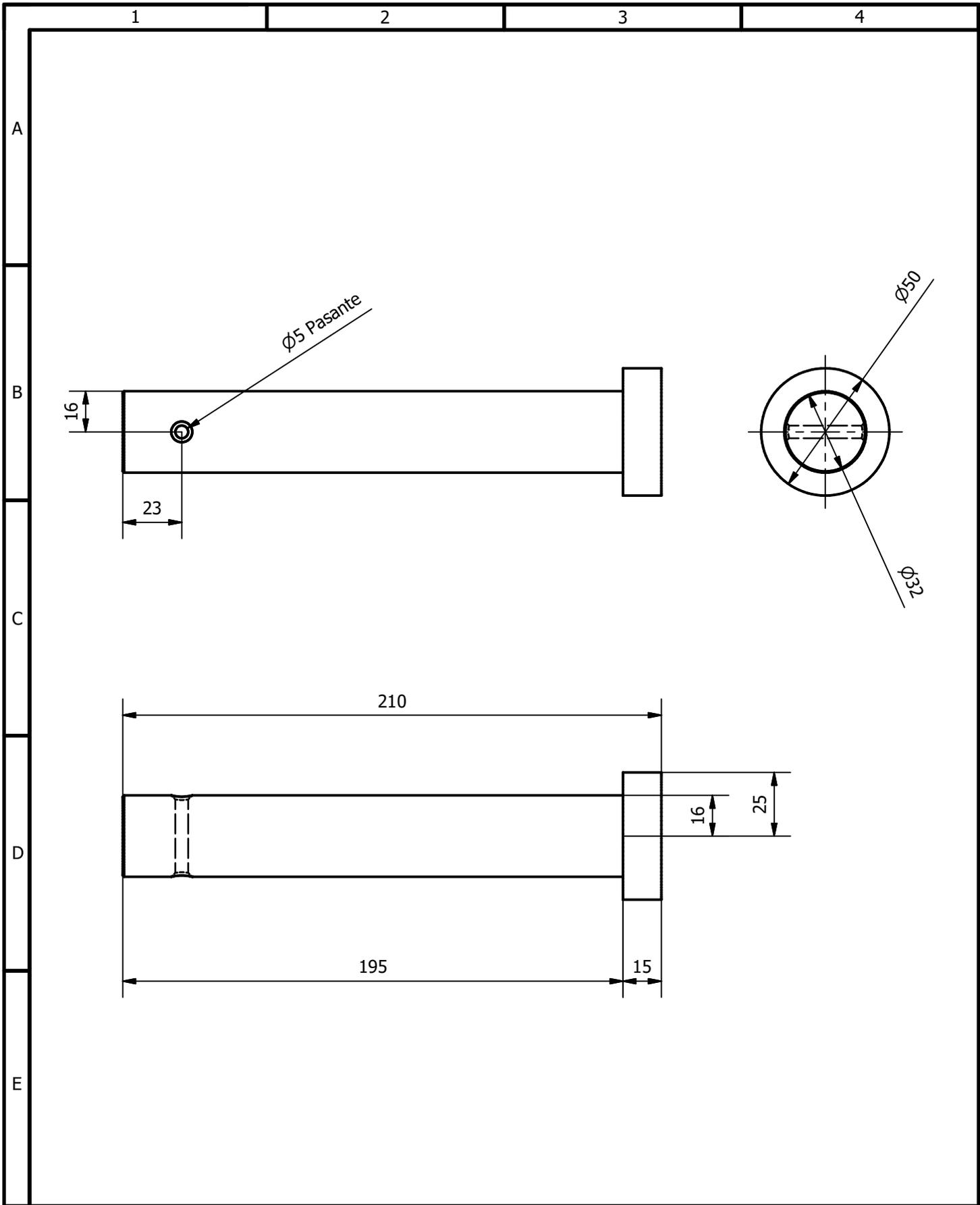
LISTA DE PIEZAS				
No de orden	No de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
1	1	Estructura de la Base móvil		-
2	1	Mesa de componentes		-

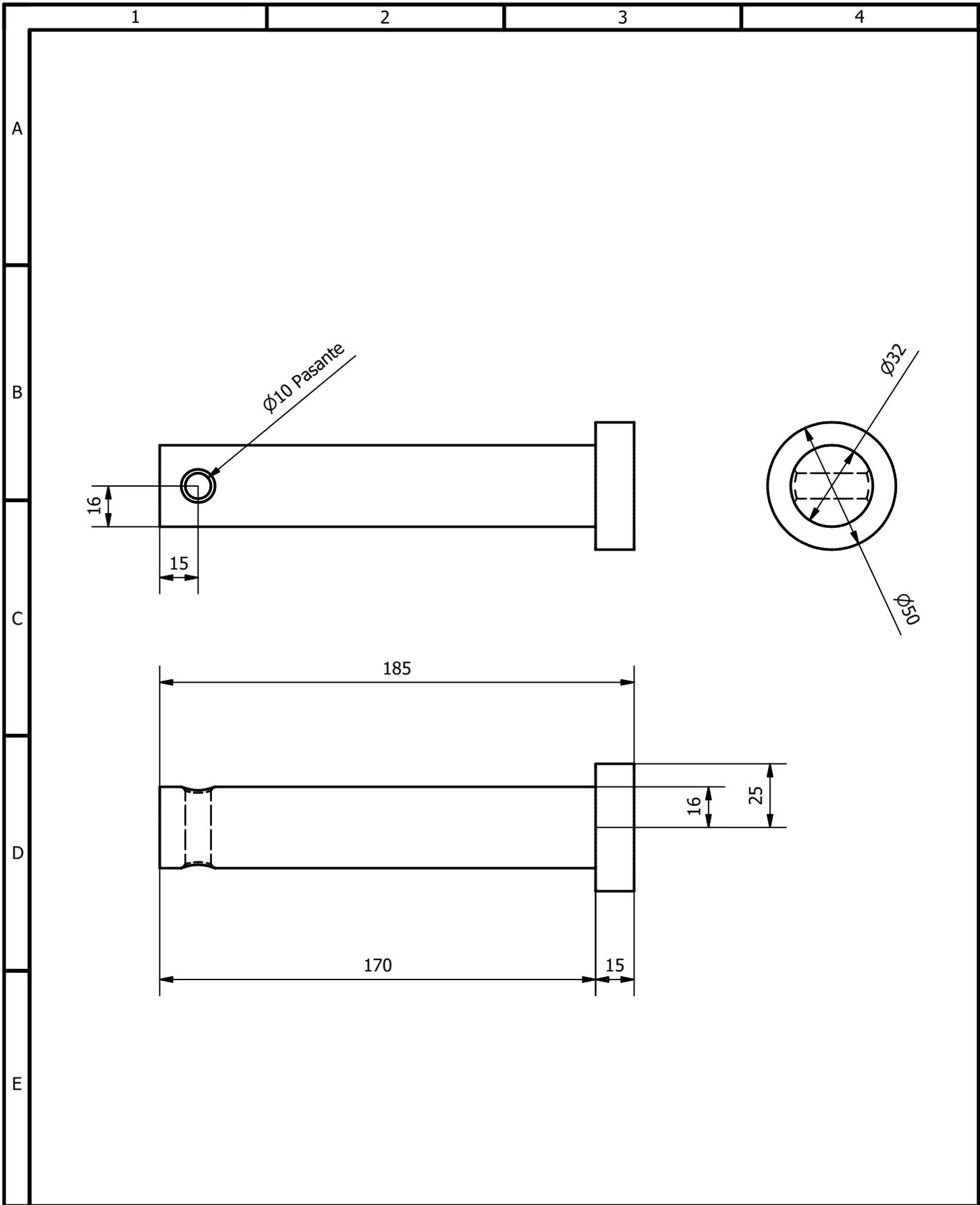
Tolerancias	(Peso)	Materiales:	
± 0.1	N/D	ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
Dib. 2/2/25	INGE2722	ESTRUCTURA - BASE MÓVIL	1:7
Rev.			
Apro.			
Firma:		Número de dibujo:	
		INGE-2722.003	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre

espol INGE2722

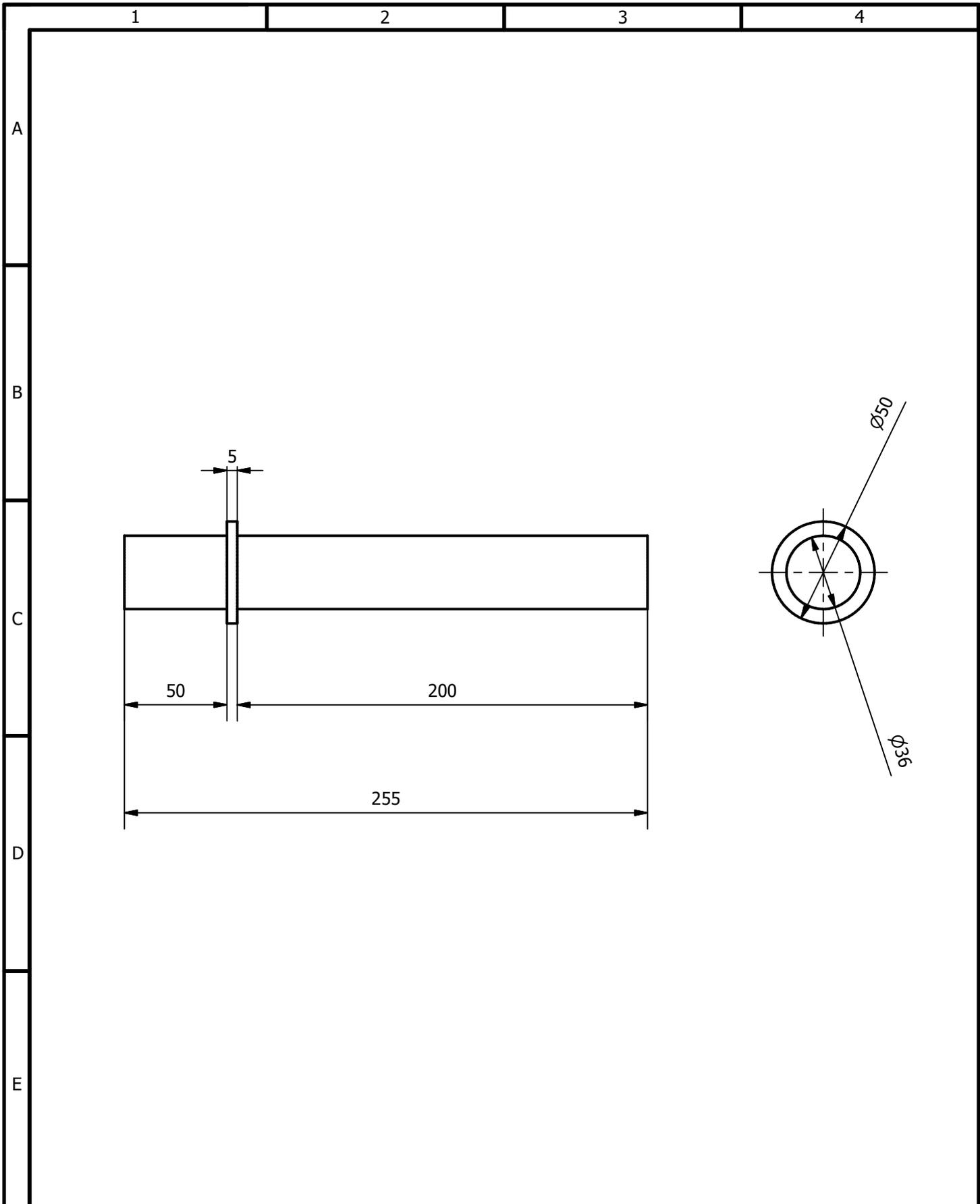




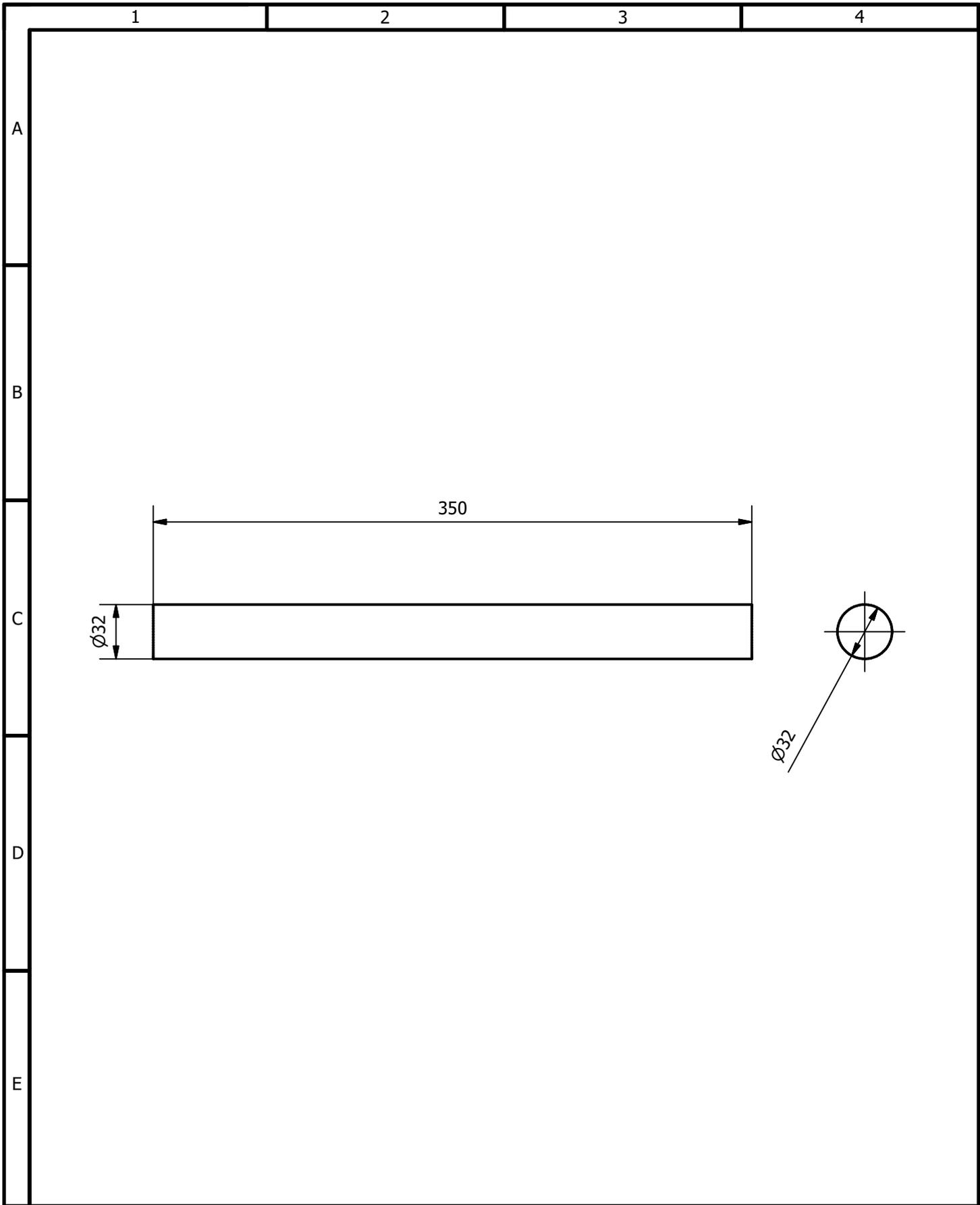
				Tolerancias ± 0.1	Peso 1.438 kg	Materiales: ACERO AISI 4340 (705)	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: EJE DE APOYO - CILINDRO Y CAMISA	Escala: 1:2
				Div.			
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:		Número: INGE-2722.004	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



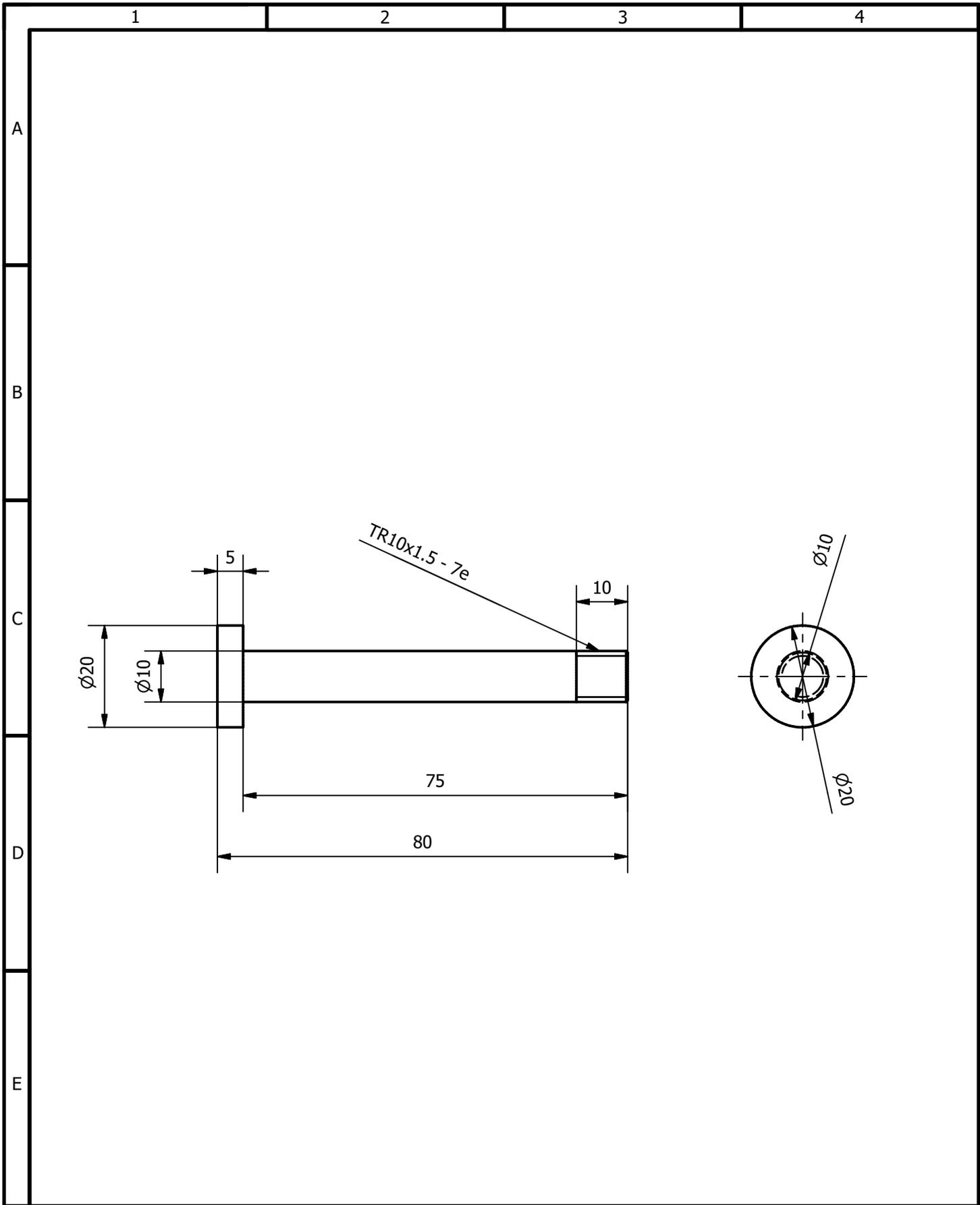
				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO AISI 4340 (705)	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: EJE DE SUJECIÓN DEL CILINDRO - PARTE INFERIOR	Escala: 1:2
				Div. 2/2/25	INGE2722		
				Rev.			
				Apro.		Número: INGE-2722.005	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Firma: <b>espol</b> INGE2722		(Sustitución)	



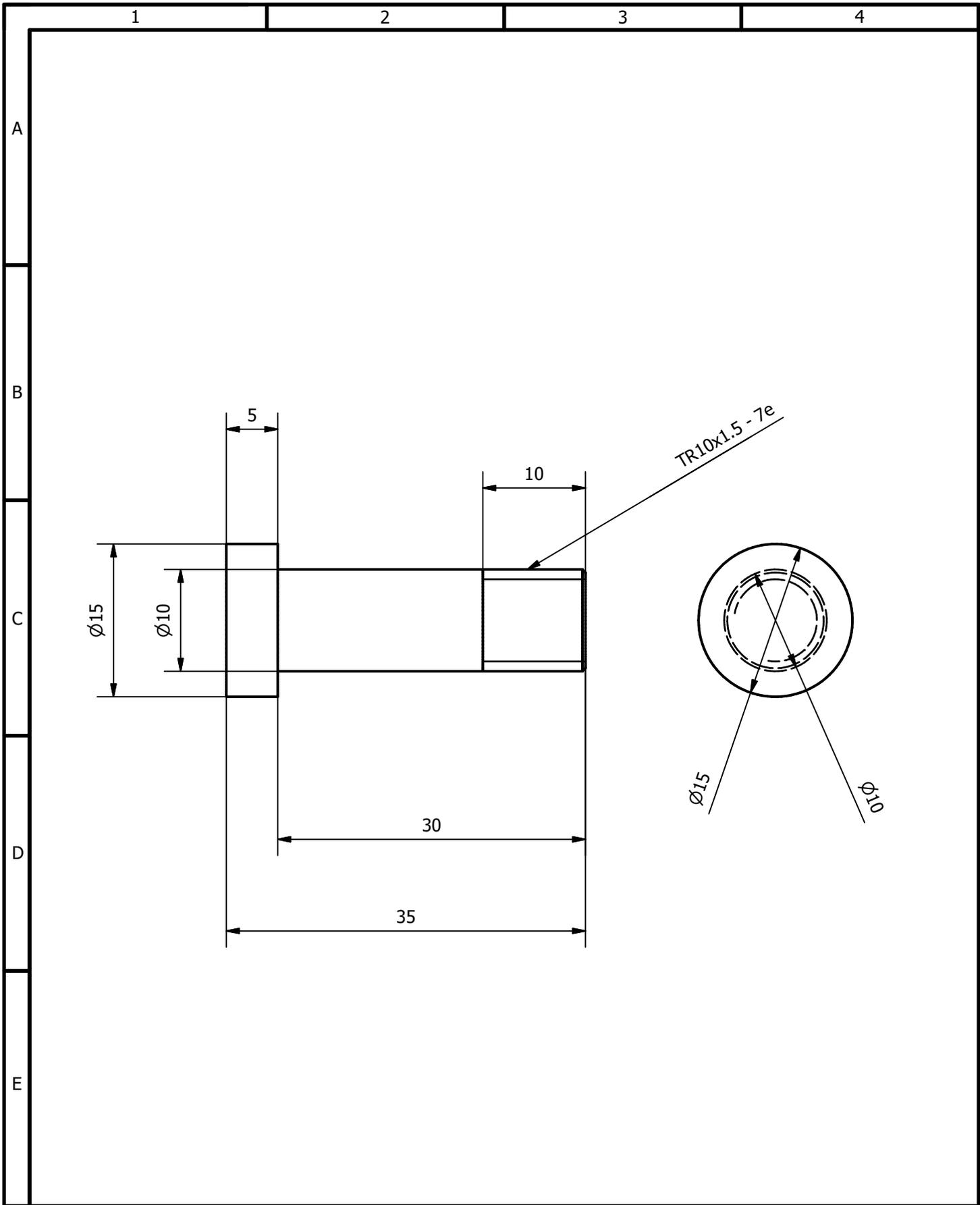
				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO AISI 4340 (705)		
					Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: EJE DE APOYO - CAMISA Y SOPORTE	Escala: 1:2.5
					Div.			
					Rev.			
					Apro.			
					Firma:		Número: INGE-2722.006	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		



				Tolerancias $\pm 0.1$	Peso N/D	Materiales: ACERO AISI 4340 (705)		
					Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: EJE DE TRANSPORTE	Escala: 1:3
					Div.			
					Rev.			
					Apro.			
				Firma:		Número:	INGE-2722.007	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

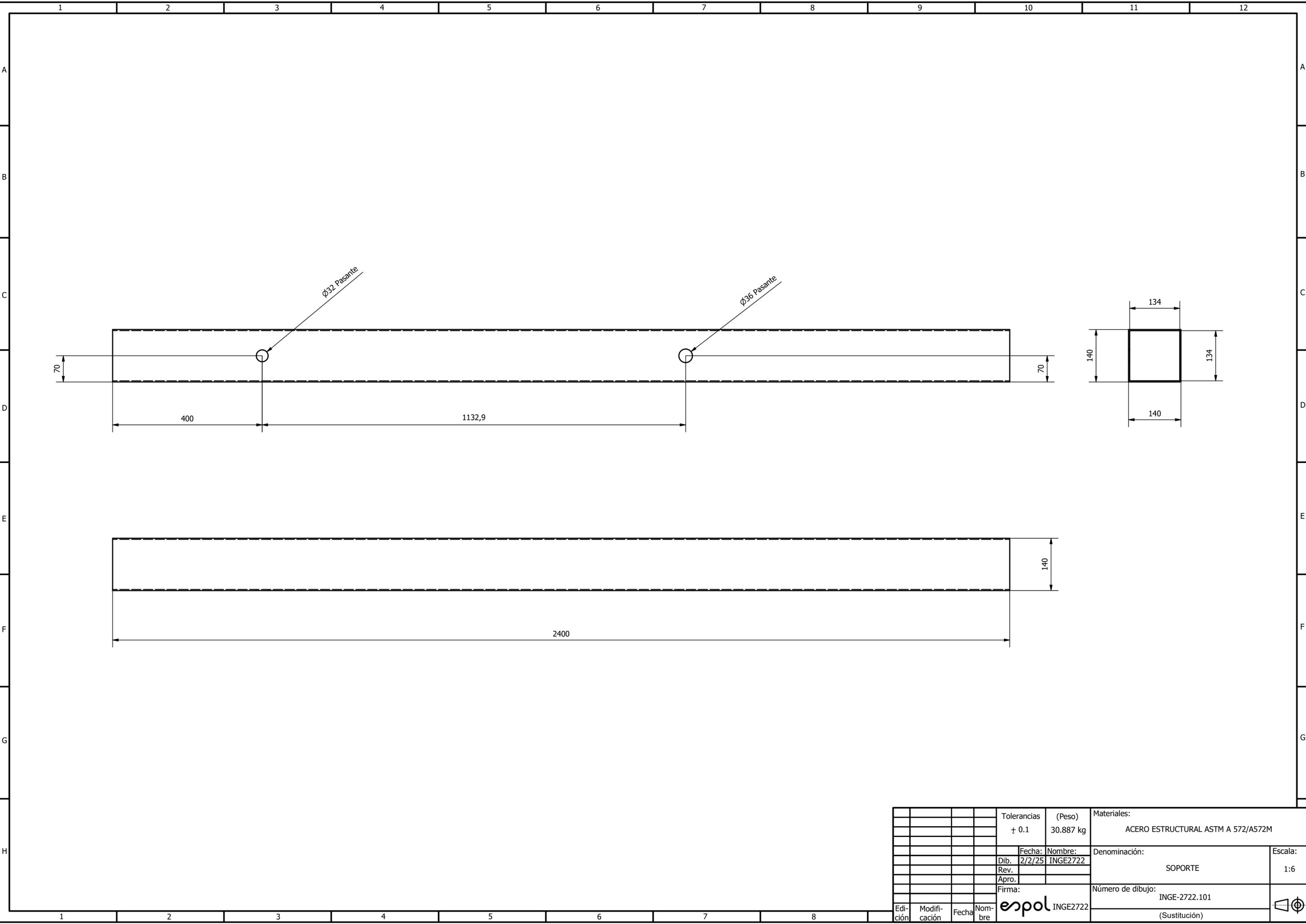


				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO AISI 4340 (705)		
					Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: EJE DE GIRO - LLANTAS DEL SISTEMA DE RUEDAS	Escala: 1:1
					Div.			
					Rev.			
					Apro.			
					Firma:		Número: INGE-2722.008	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)	

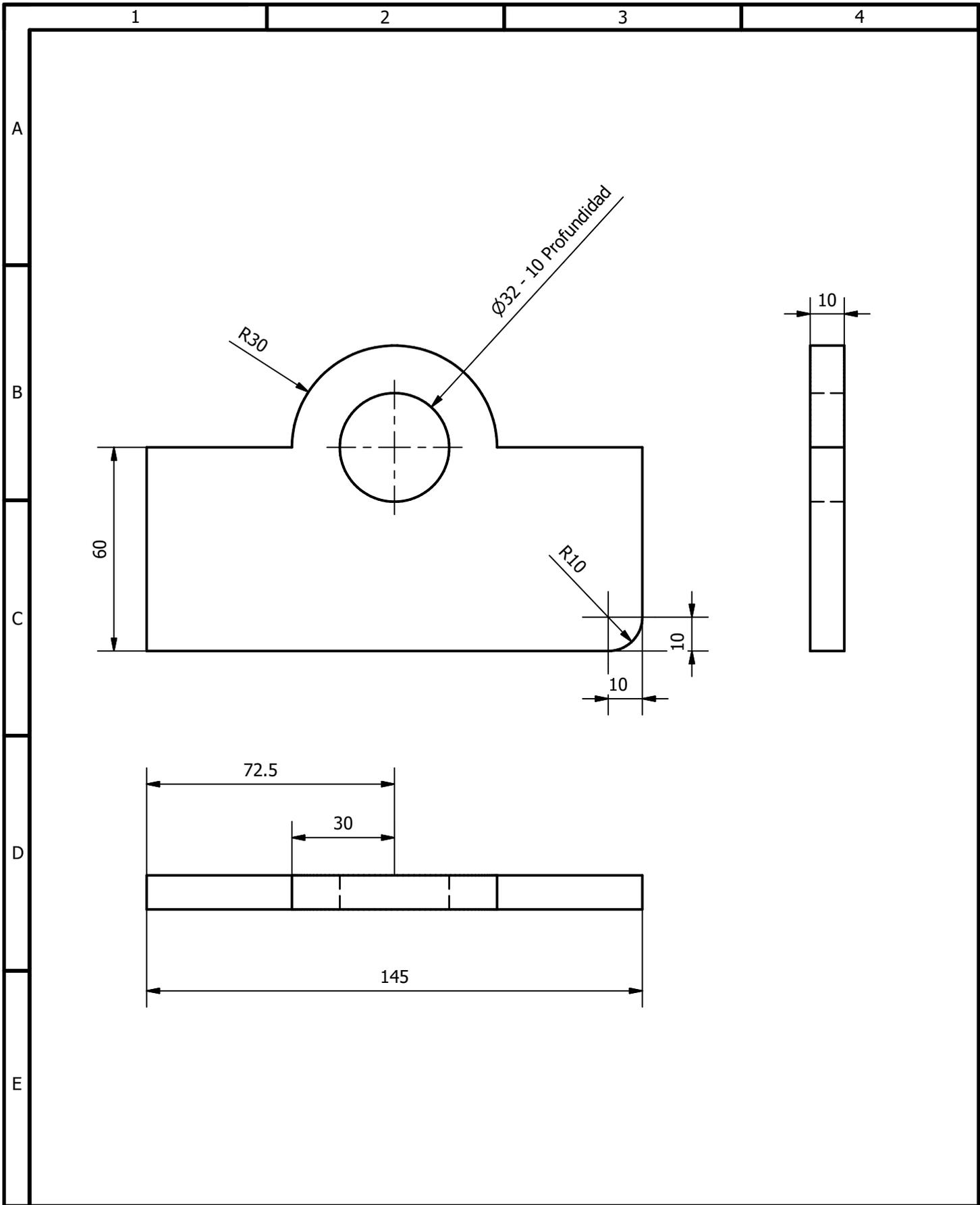


				Tolerancias $\pm 0.1$	Peso 0.025 kg	Materiales: ACERO AISI 4340 (705)	
						Denominación:	Escala:
				Fecha:	Nombre:	EJE DE SUJECIÓN - SISTEMA DE RUEDAS Y SOPORTE FIJO	2:1
				Div. 2/2/25	INGE2722		
				Rev.			
				Apro.		Número:	
				Firma:		INGE-2722.009	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGE2722		(Sustitución)	

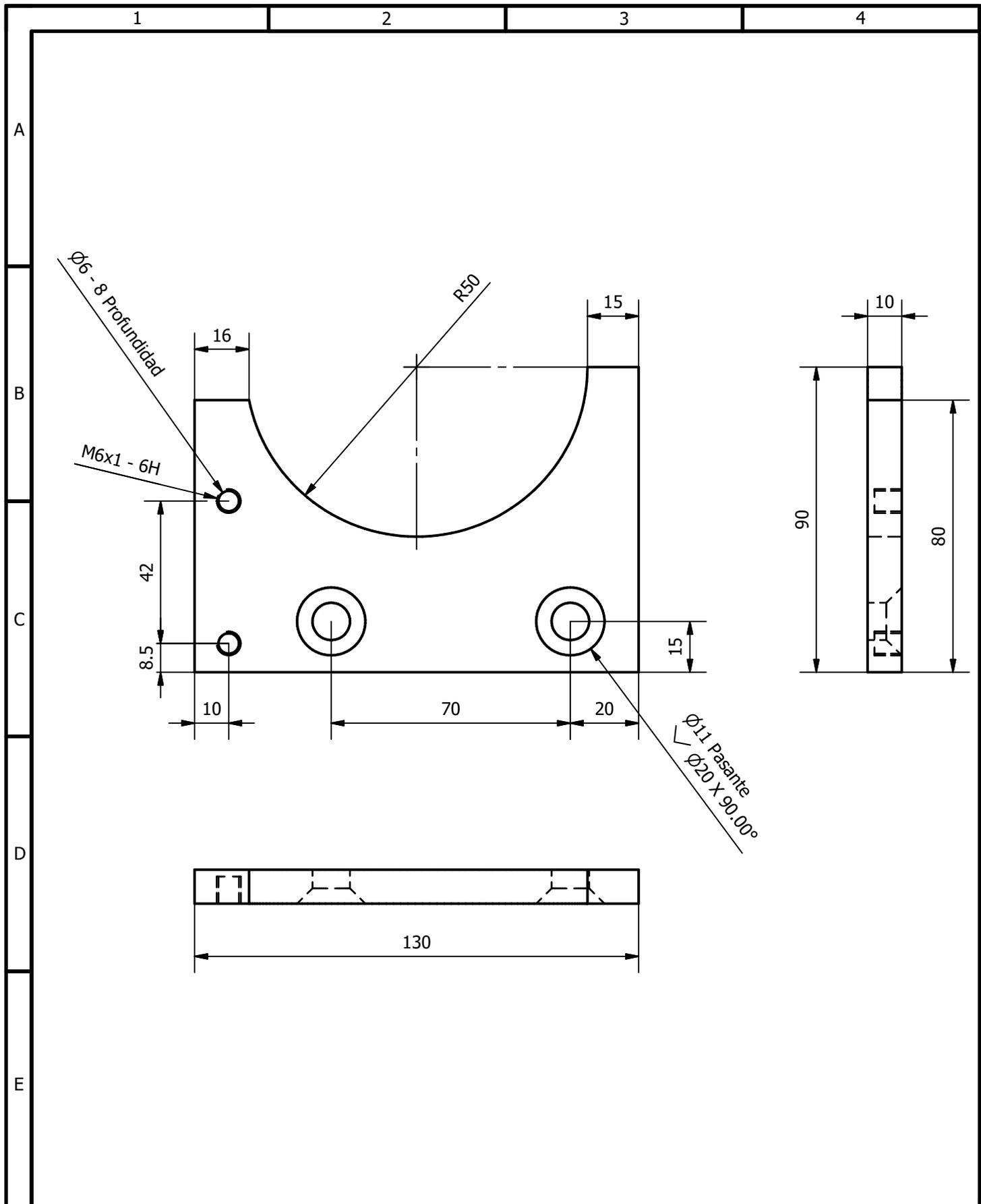




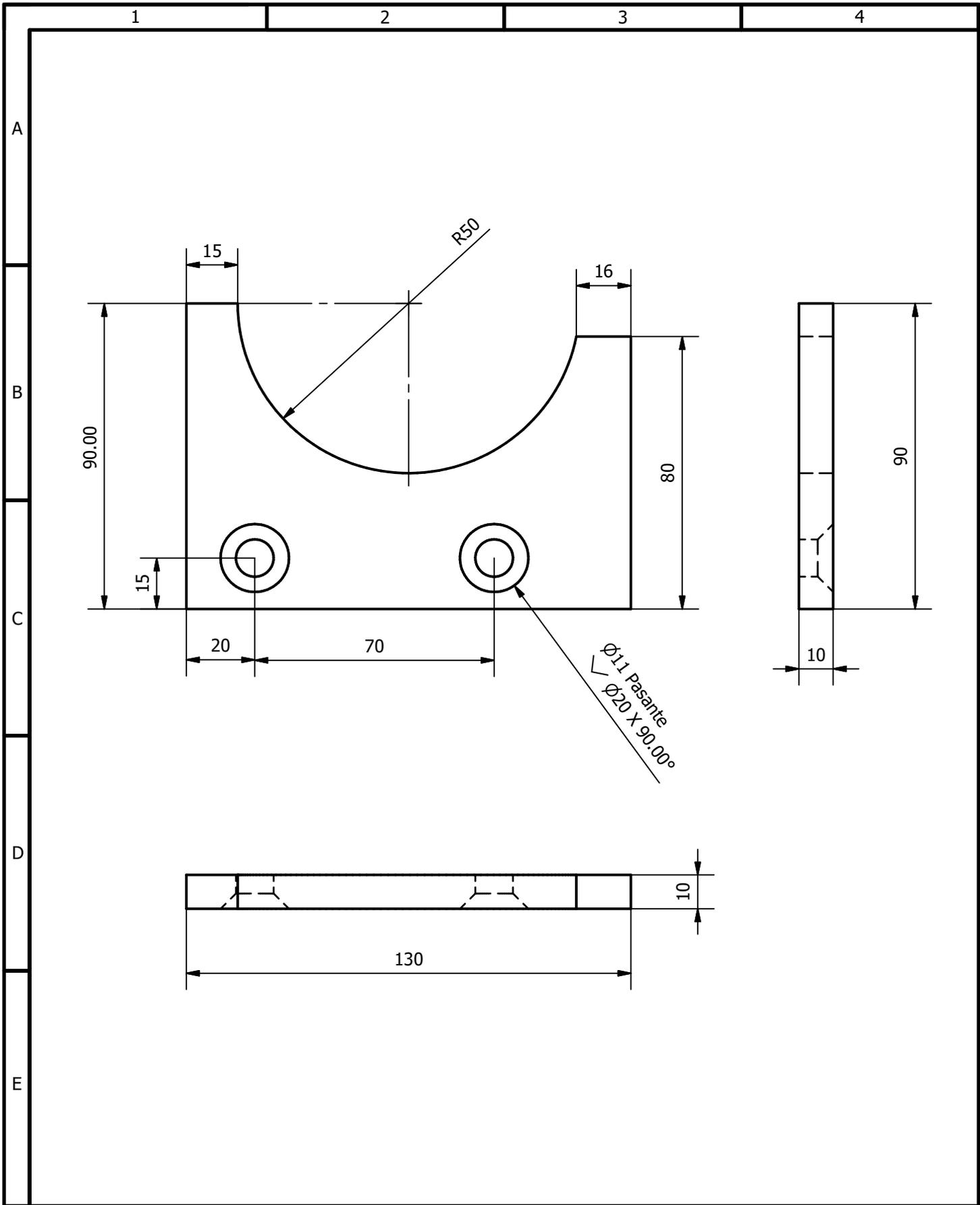
				Tolerancias ± 0.1	(Peso) 30.887 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Denominación: SOPORTE	
						Escala: 1:6	
						Número de dibujo: INGE-2722.101	
						(Sustitución)	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- bre	Firma: <b>espol</b> INGE2722			



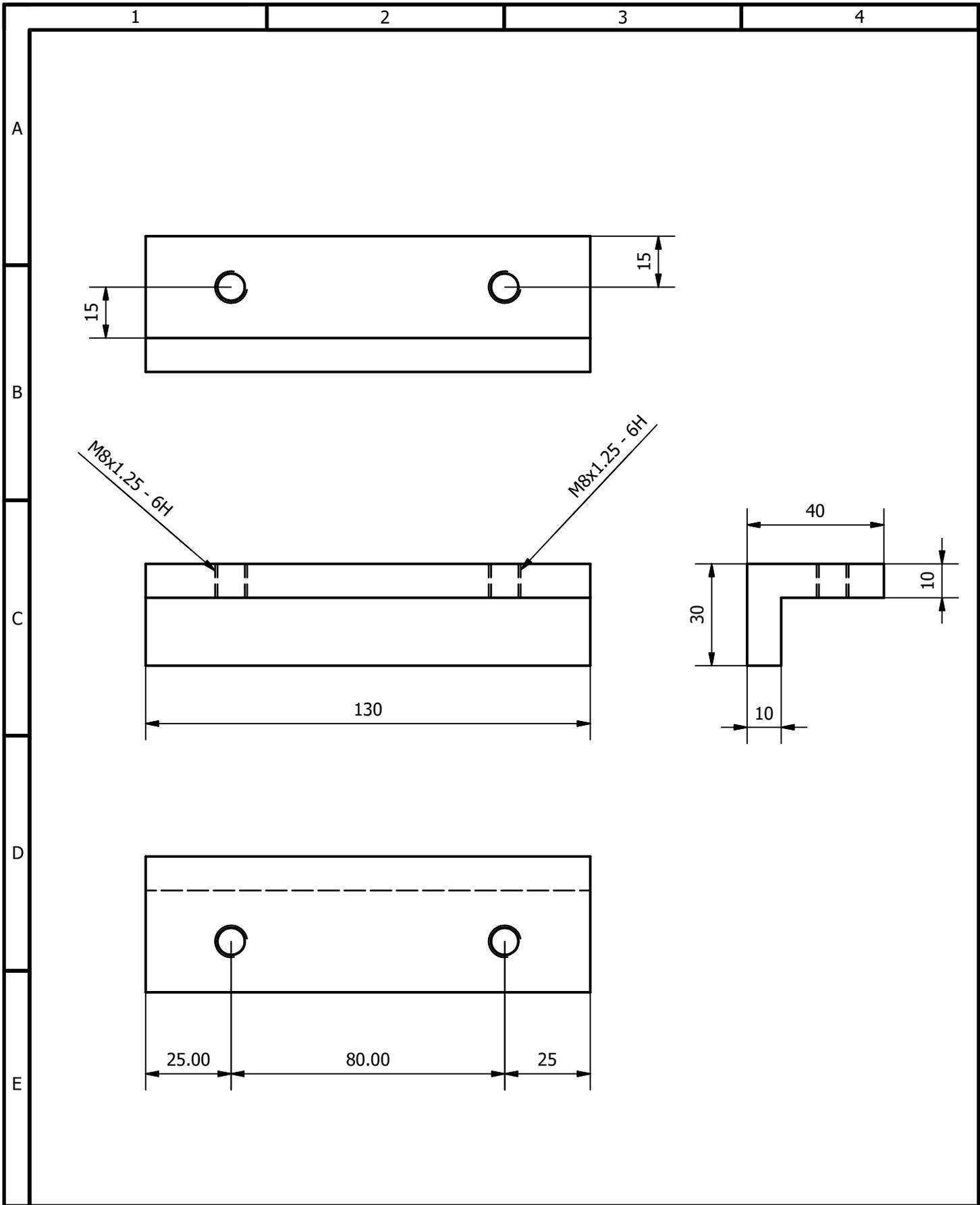
				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: PLACA PARA EJE INFERIOR DEL CILINDRO	Escala: 1:1.5
				Div.		Número: INGE-2722.102 (Sustitución)	
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



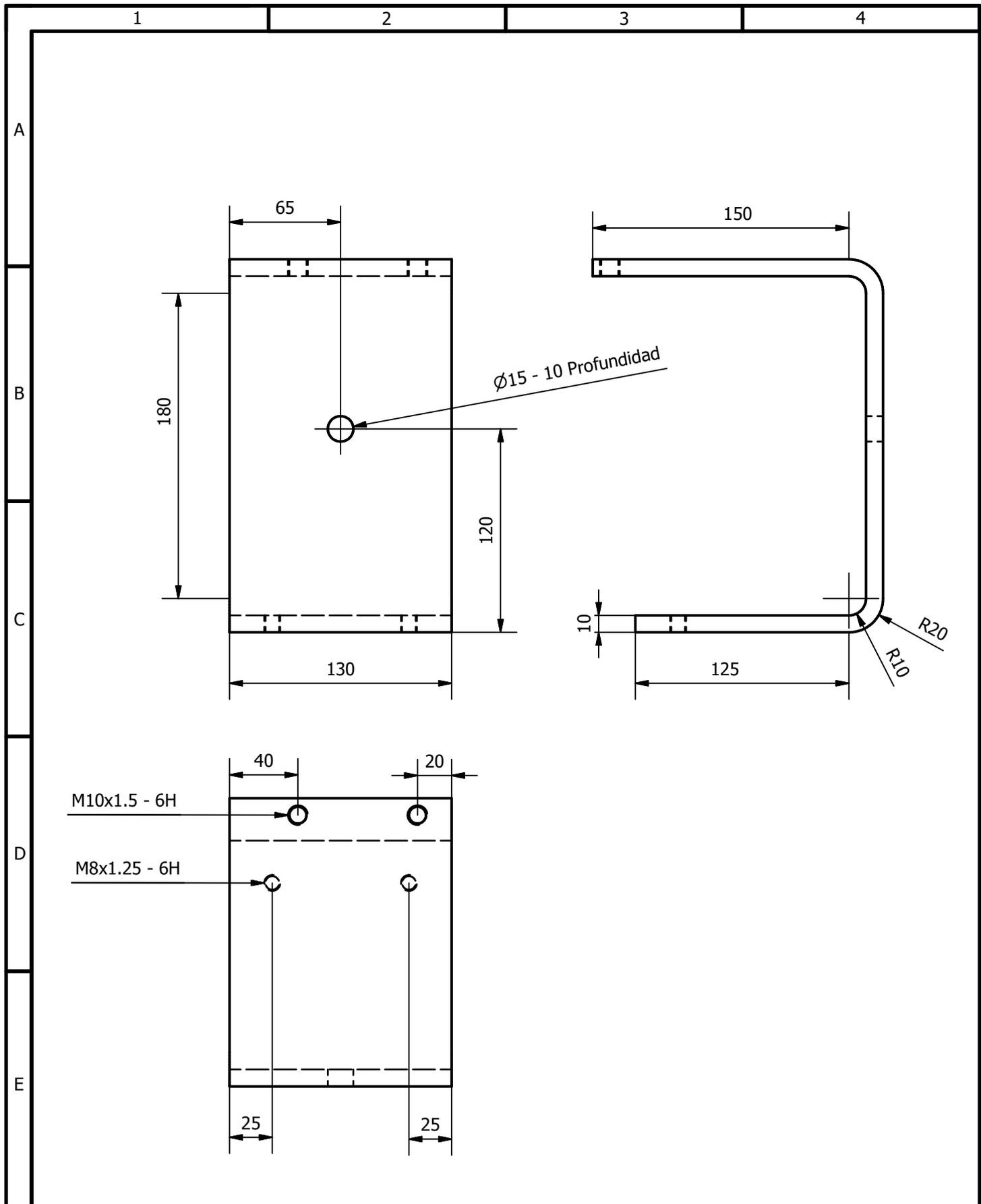
				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Denominación:	Escala:
				Fecha:	Nombre:	PLACA DE SUJECIÓN DEL CILINDRO - PERFORADO ADICIONAL	1:1.5
				Div. 2/2/25	INGE2722		
				Rev.			
				Apro.		Número:	
				Firma:		INGE-2722.103	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre	INGE2722		(Sustitución)	



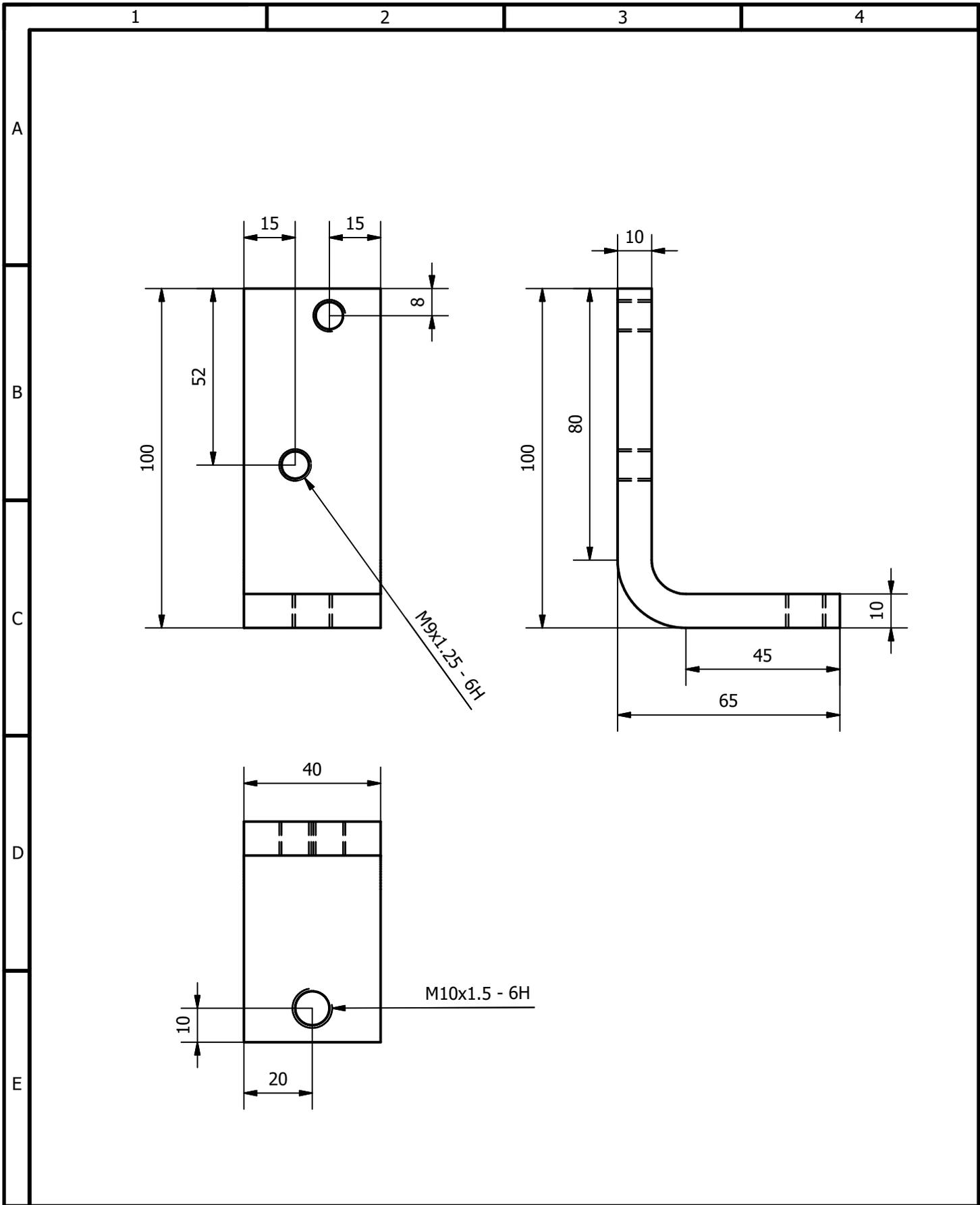
				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Denominación:	Escala:
				Fecha:	Nombre:	PLACA DE SUJECIÓN DEL CILINDRO	1:1.5
				Div. 2/2/25	INGE2722		
				Rev.			
				Apro.		Número:	
				Firma:		INGE-2722.104	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGE2722		(Sustitución)	

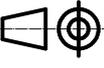


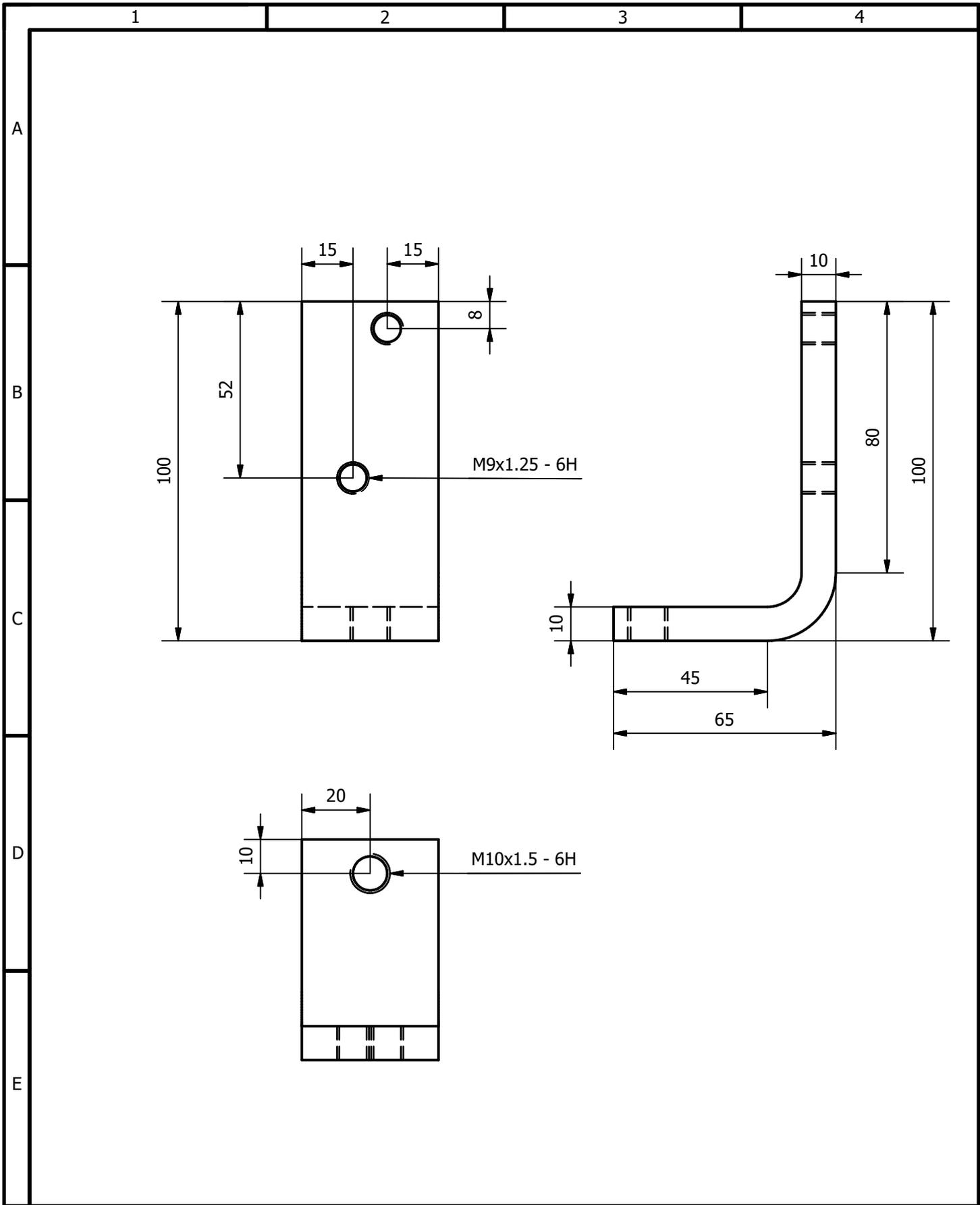
				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: PLACA DE UNIÓN PARA LA PLACA DE PROTECCIÓN	Escala: 1:1.5
				Div.			
				Rev.		Número: INGE-2722.105 (Sustitución)	
				Apro.			
				Firma:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



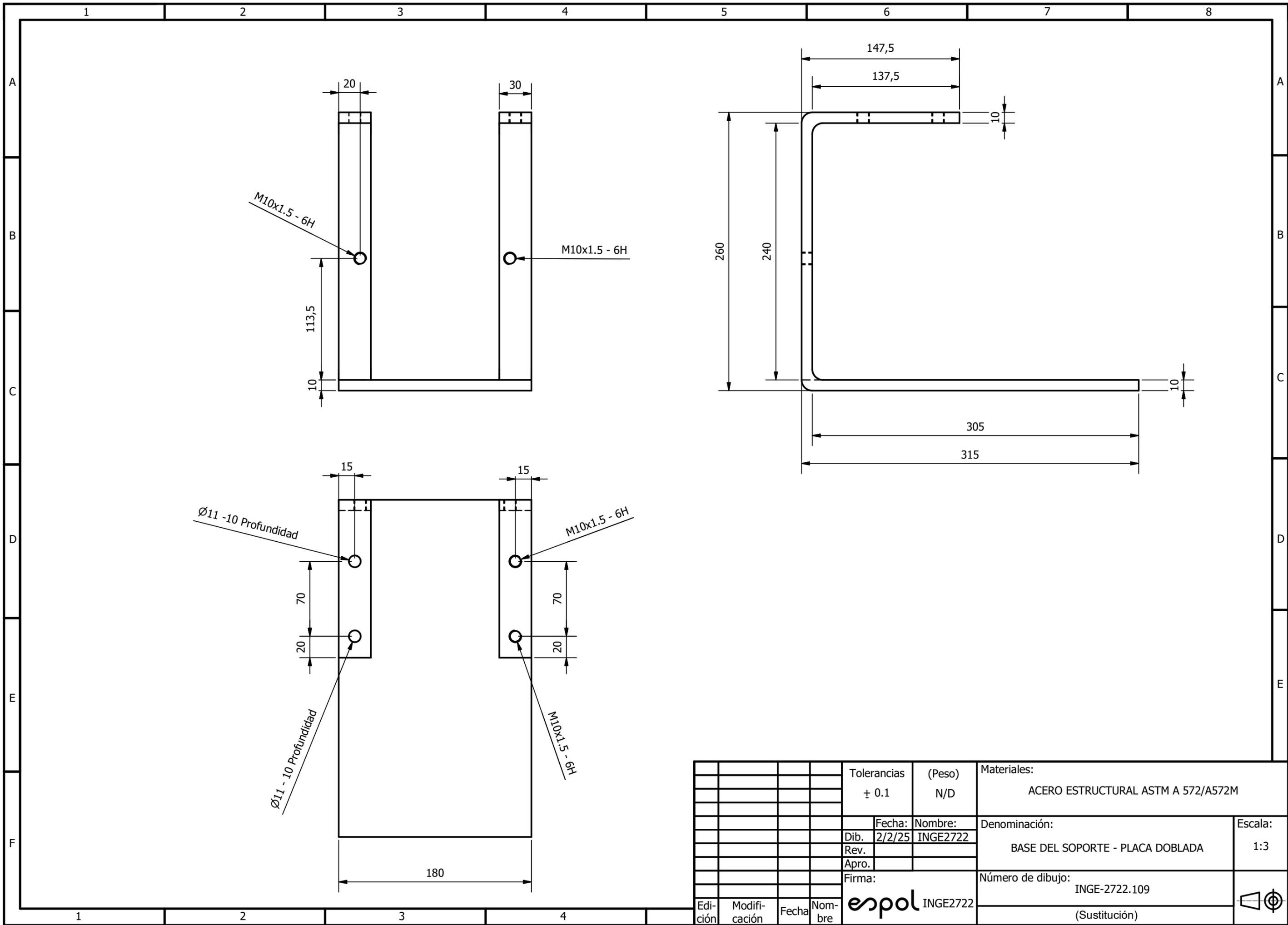
				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Denominación:	Escala:
				Fecha:	Nombre:	PLACA DE PROTECCIÓN PARA SENSOR DE POSICIÓN	1:3
				Div. 2/2/25	INGE2722		
				Rev.			
				Apro.		Número:	
				Firma:		INGE-2722.106	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGE2722		(Sustitución)	



				Tolerancias $\pm 0.1$	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: PLACA DE SUJECIÓN - VÁLVULA CONTRABALANCEO	Escala: 1:1.5
				Div. 2/2/25	INGE2722		
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:		Número:	
						INGE-2722.107	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

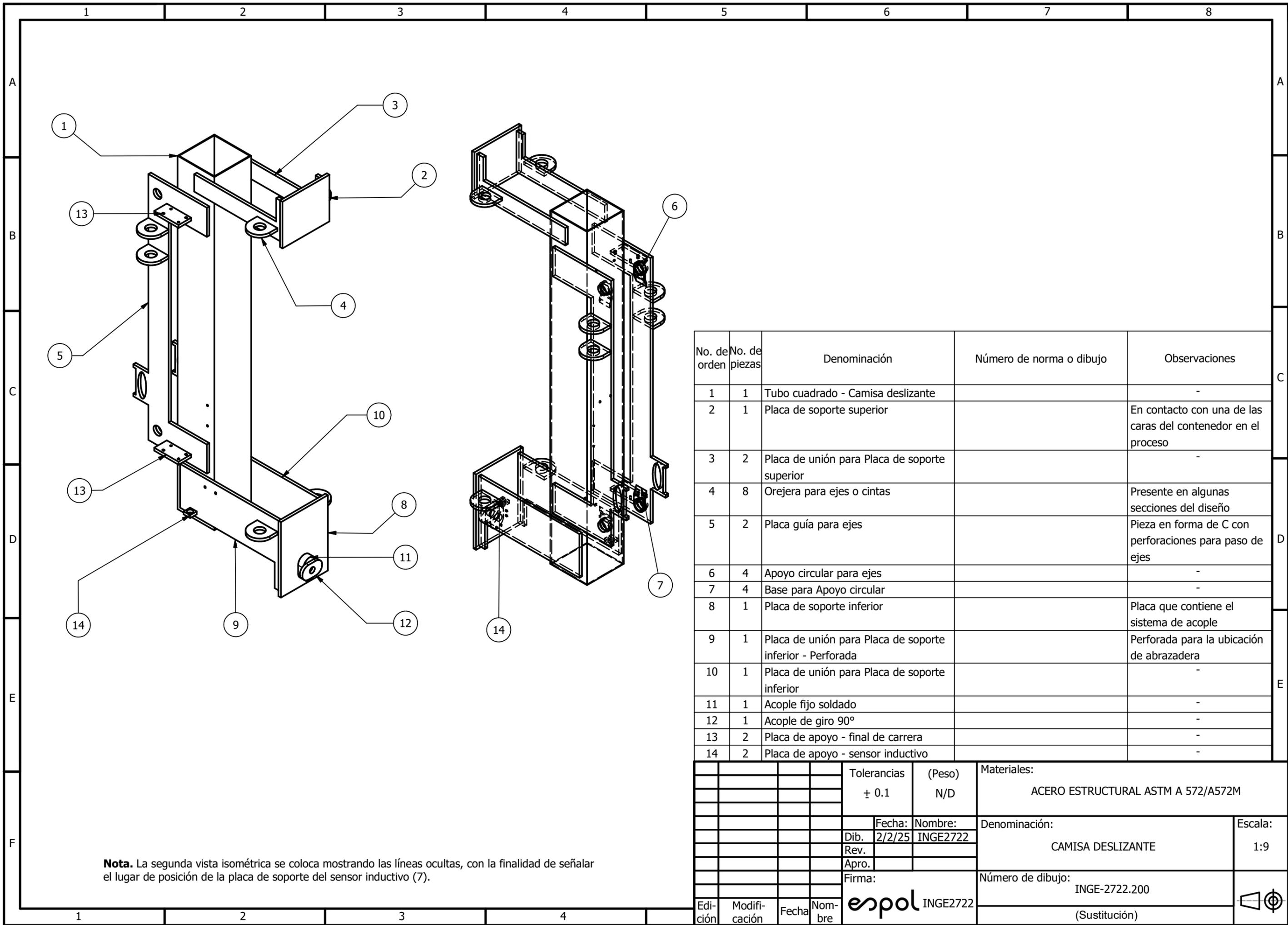


				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Denominación:	Escala:
				Fecha:	Nombre:	PLACA DE SUJECIÓN SIMETRÍA - VÁLVULA CONTRABALANCEO	1:1.5
				Div. 2/2/25	INGE2722		
				Rev.			
				Apro.		Número:	
				Firma:		INGE-2722.108	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre	INGE2722		(Sustitución)	



				Tolerancias ± 0.1	(Peso) N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación: BASE DEL SOPORTE - PLACA DOBLADA	
						Escala: 1:3	
						Número de dibujo: INGE-2722.109	
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

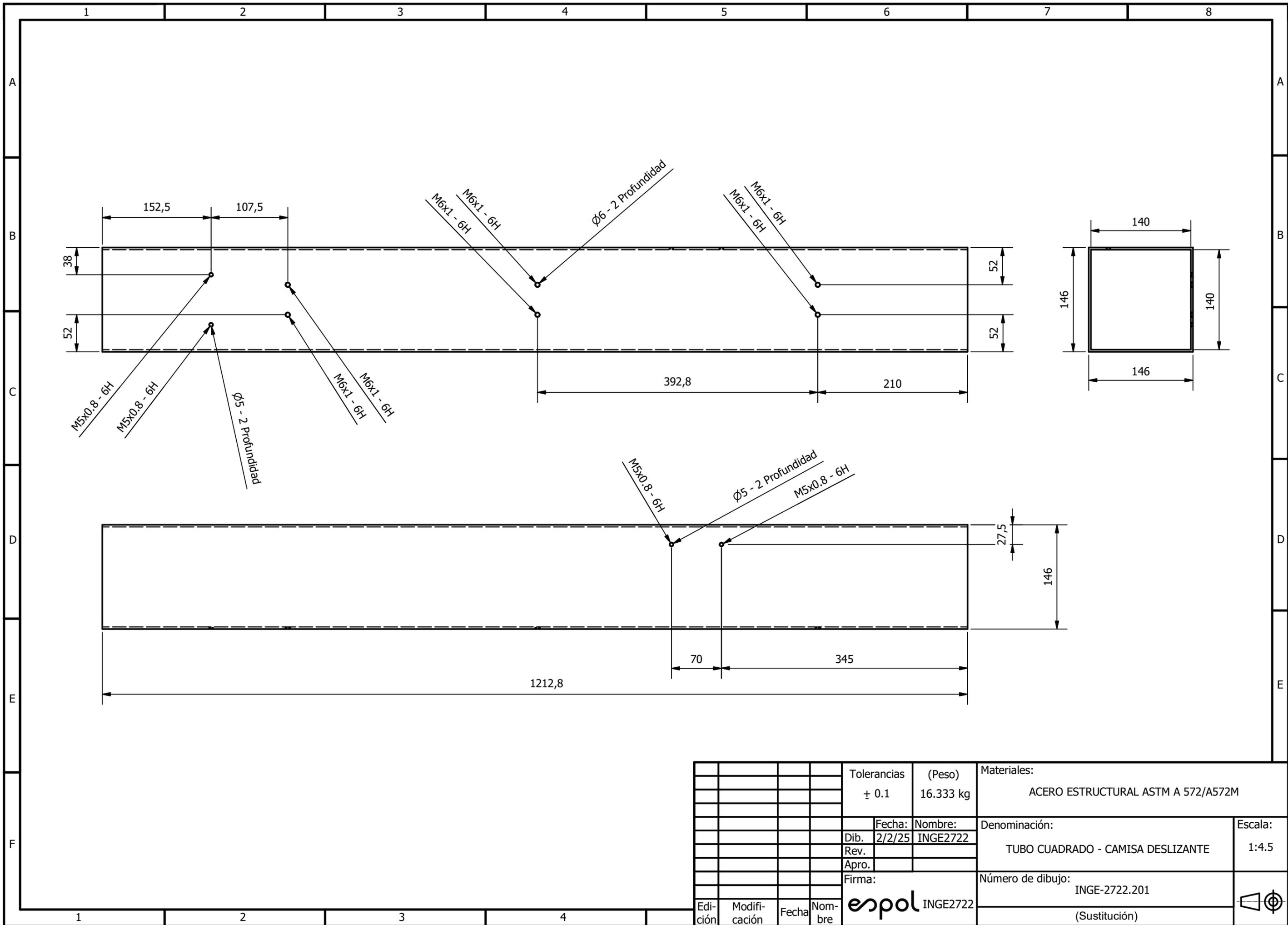




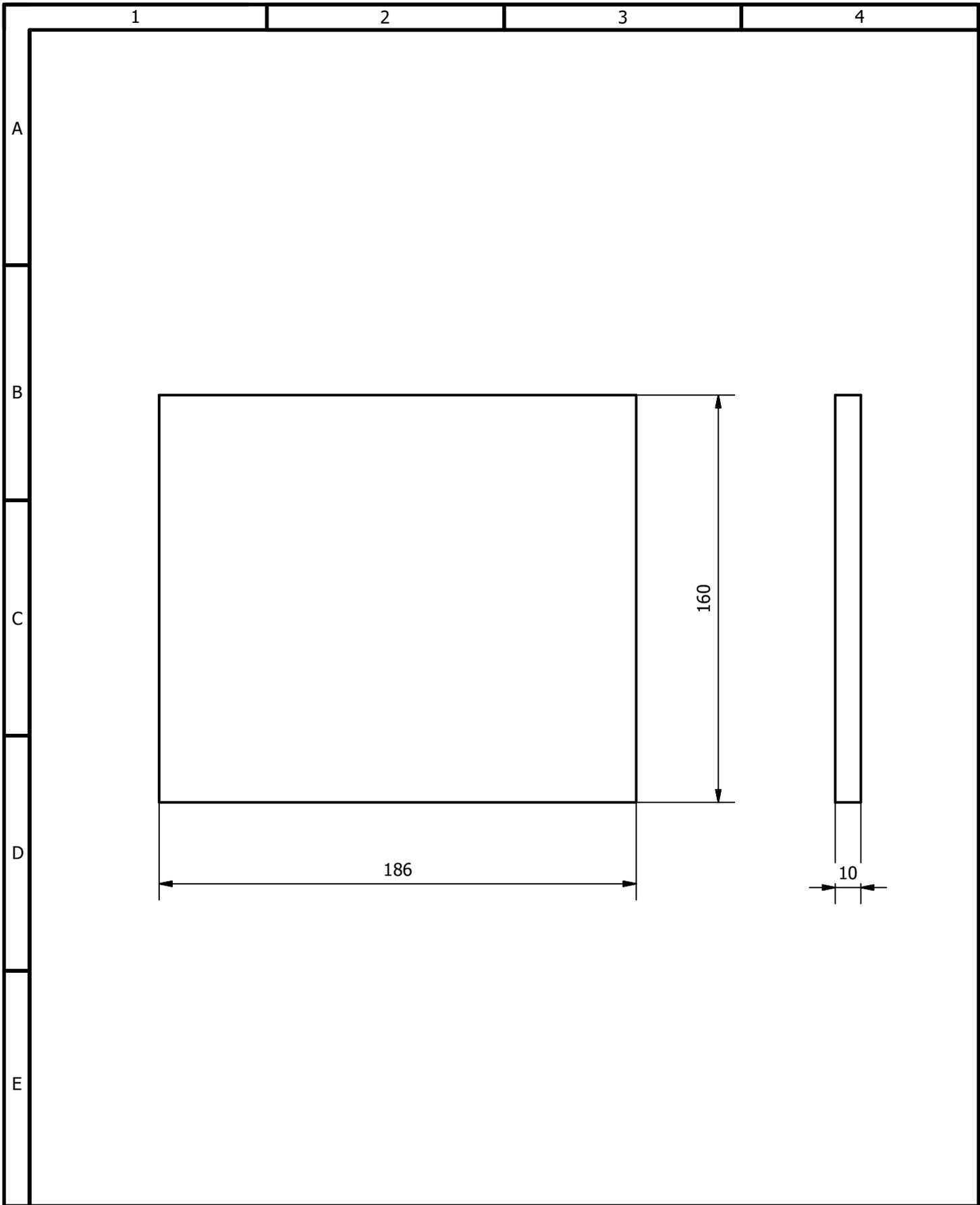
No. de orden	No. de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
1	1	Tubo cuadrado - Camisa deslizante		-
2	1	Placa de soporte superior		En contacto con una de las caras del contenedor en el proceso
3	2	Placa de unión para Placa de soporte superior		-
4	8	Orejera para ejes o cintas		Presente en algunas secciones del diseño
5	2	Placa guía para ejes		Pieza en forma de C con perforaciones para paso de ejes
6	4	Apoyo circular para ejes		-
7	4	Base para Apoyo circular		-
8	1	Placa de soporte inferior		Placa que contiene el sistema de acople
9	1	Placa de unión para Placa de soporte inferior - Perforada		Perforada para la ubicación de abrazadera
10	1	Placa de unión para Placa de soporte inferior		-
11	1	Acople fijo soldado		-
12	1	Acople de giro 90°		-
13	2	Placa de apoyo - final de carrera		-
14	2	Placa de apoyo - sensor inductivo		-

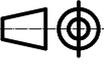
**Nota.** La segunda vista isométrica se coloca mostrando las líneas ocultas, con la finalidad de señalar el lugar de posición de la placa de soporte del sensor inductivo (7).

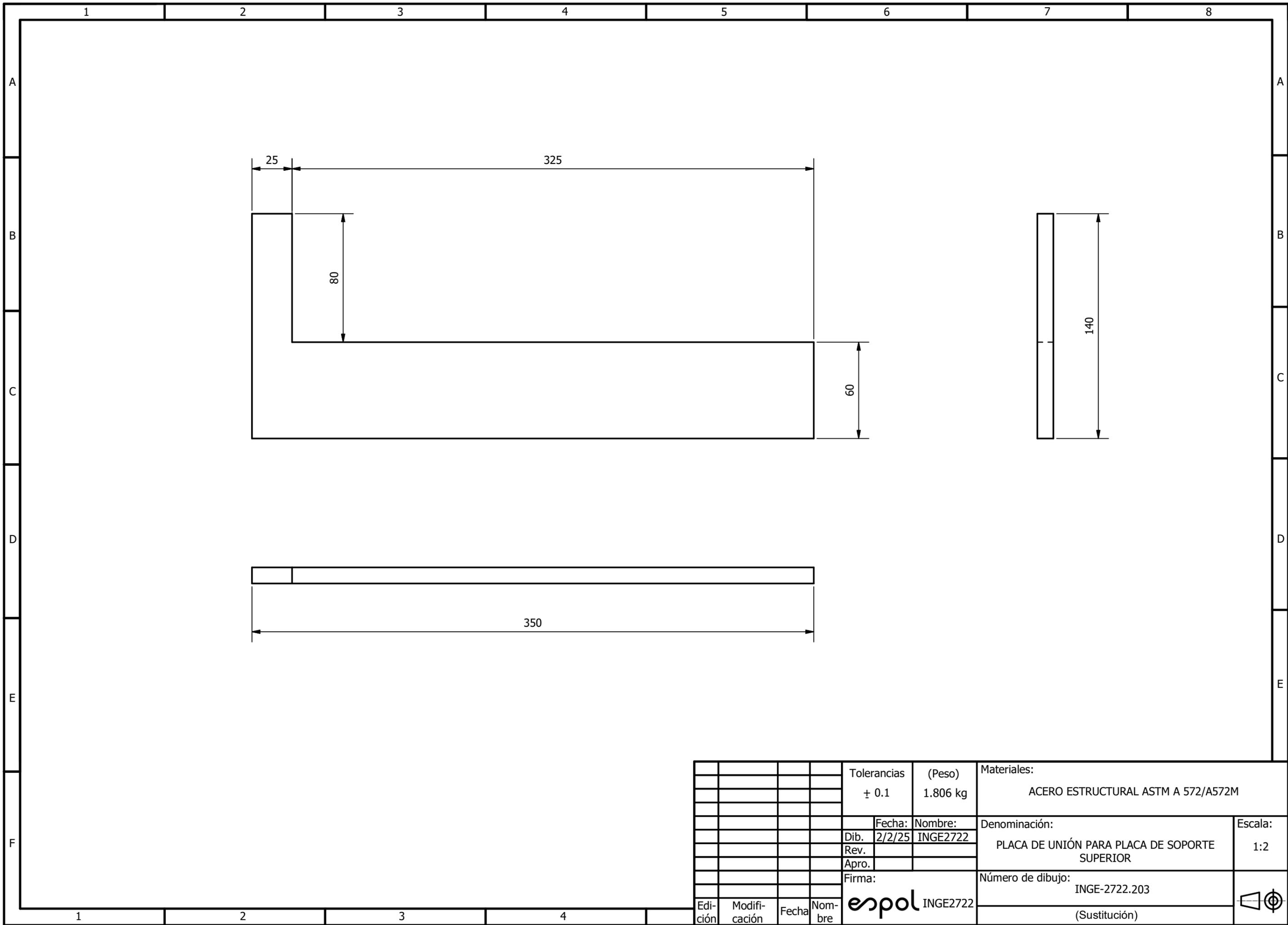
Tolerancias		(Peso)	Materiales:	
± 0.1		N/D	ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
Fecha:		Nombre:	Denominación:	Escala:
Dib. 2/2/25		INGE2722	CAMISA DESLIZANTE	1:9
Rev.				
Apro.				
Firma:		Número de dibujo:		
		INGE-2722.200		
Edición	Modificación	Fecha	(Sustitución)	



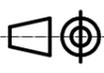
				Tolerancias ± 0.1	(Peso) 16.333 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación: TUBO CUADRADO - CAMISA DESLIZANTE	
						Escala: 1:4.5	
						Número de dibujo: INGE-2722.201	
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

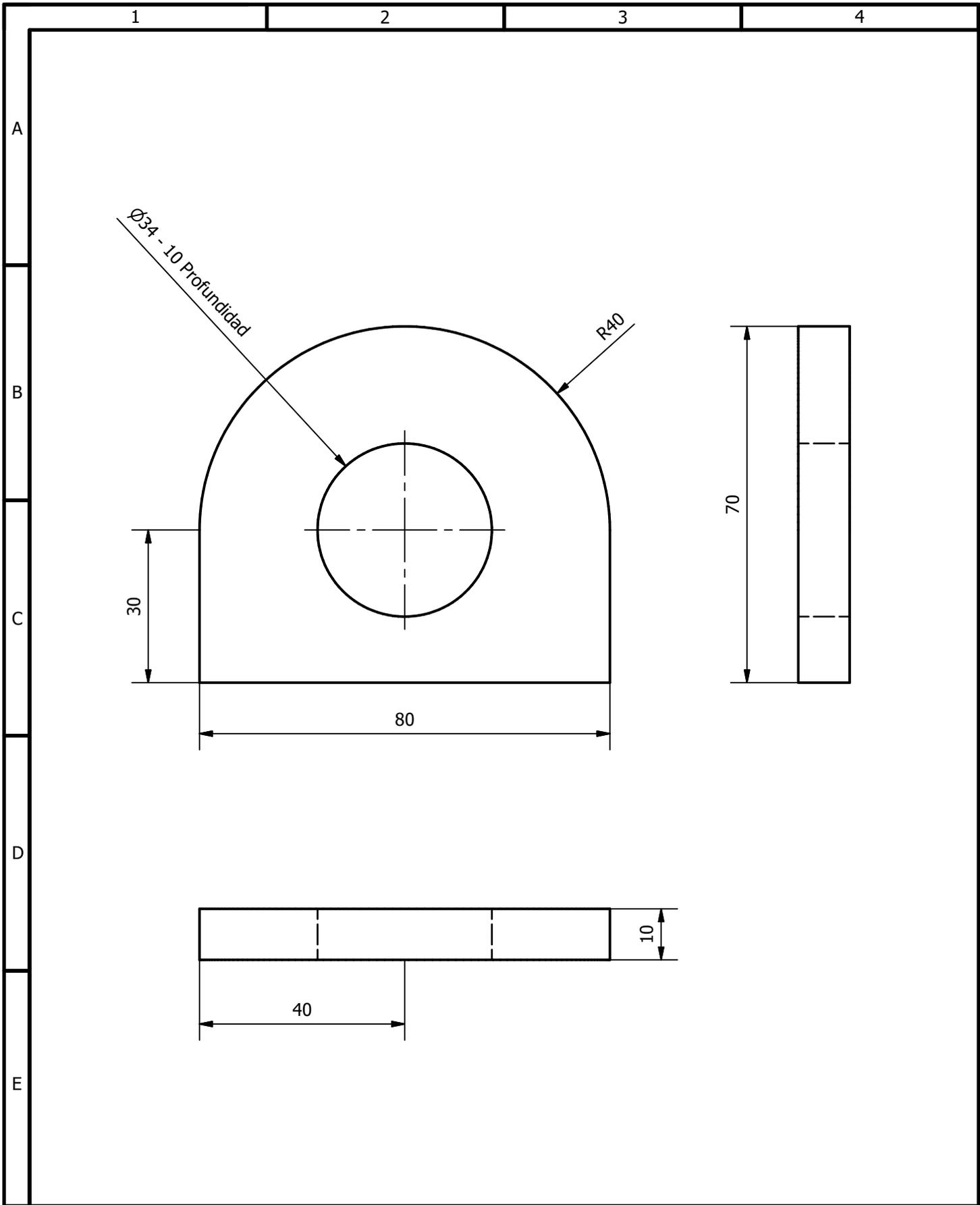


				Tolerancias ± 0.1	Peso 2.336 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: PLACA DE SOPORTE SUPERIOR	Escala: 1:2
				Div.			
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:		Número: INGE-2722.202	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

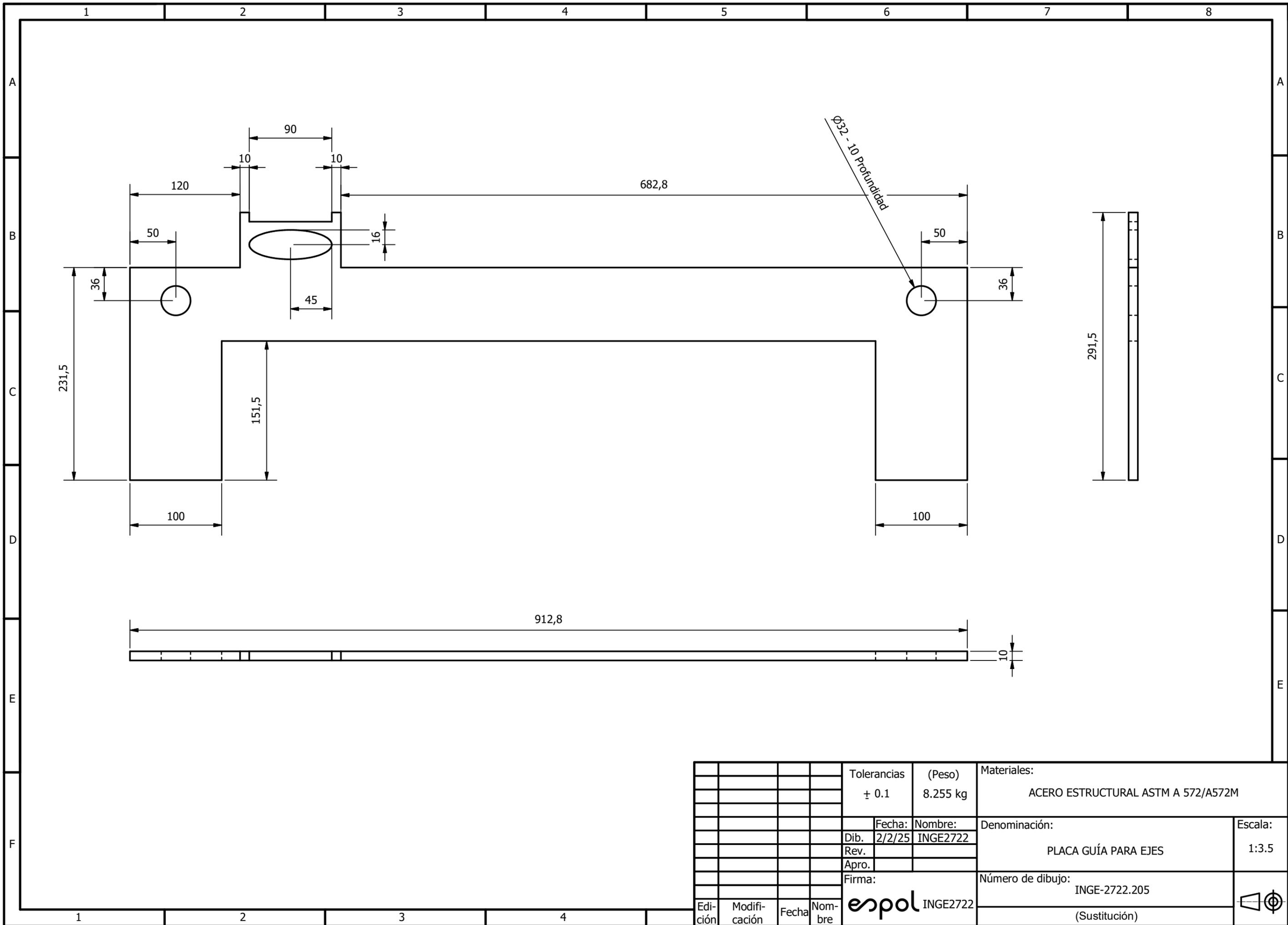


				Tolerancias ± 0.1	(Peso) 1.806 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación: PLACA DE UNIÓN PARA PLACA DE SOPORTE SUPERIOR	
						Escala: 1:2	
						Número de dibujo: INGE-2722.203	
						Firma: <b>espol</b> INGE2722	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

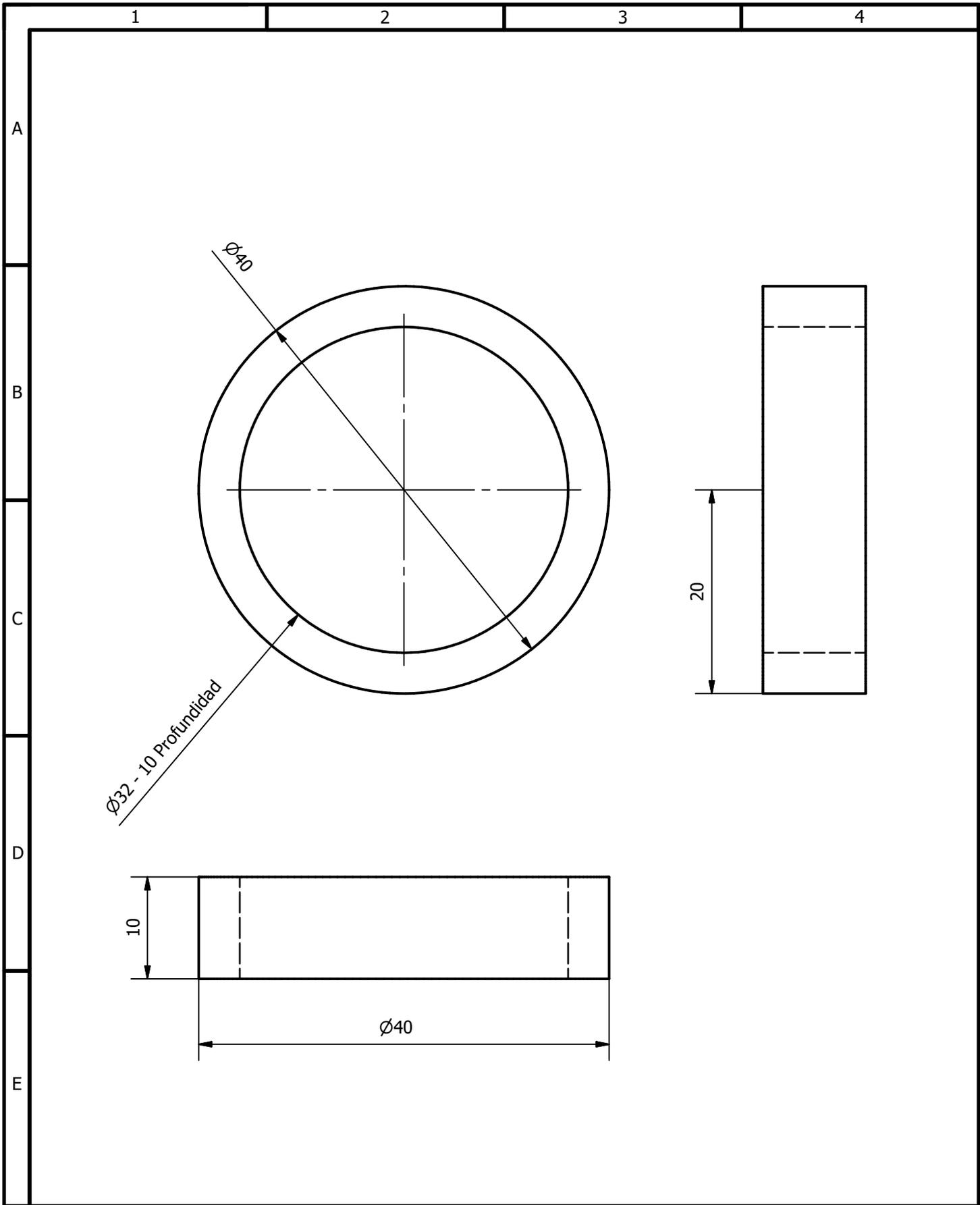




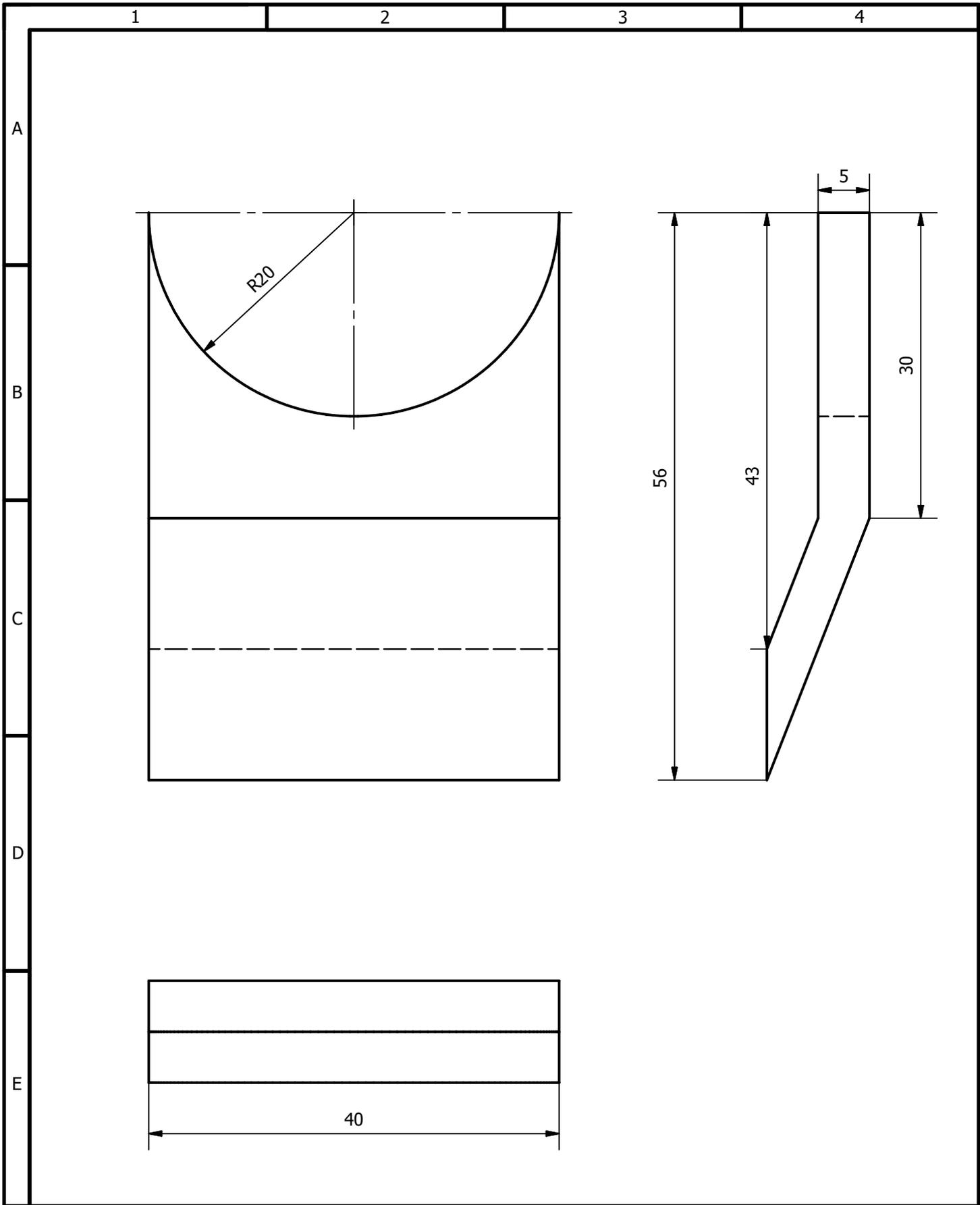
				Tolerancias	Peso	Materiales:			
				$\pm 0.1$	0.314 kg	ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M			
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:		
				Div. 2/2/25	INGE2722			OREJERA PARA EJES O CINTAS	1:1
				Rev.					
				Apro.		Número:			
				Firma:		INGE-2722.204			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGE2722		(Sustitución)			



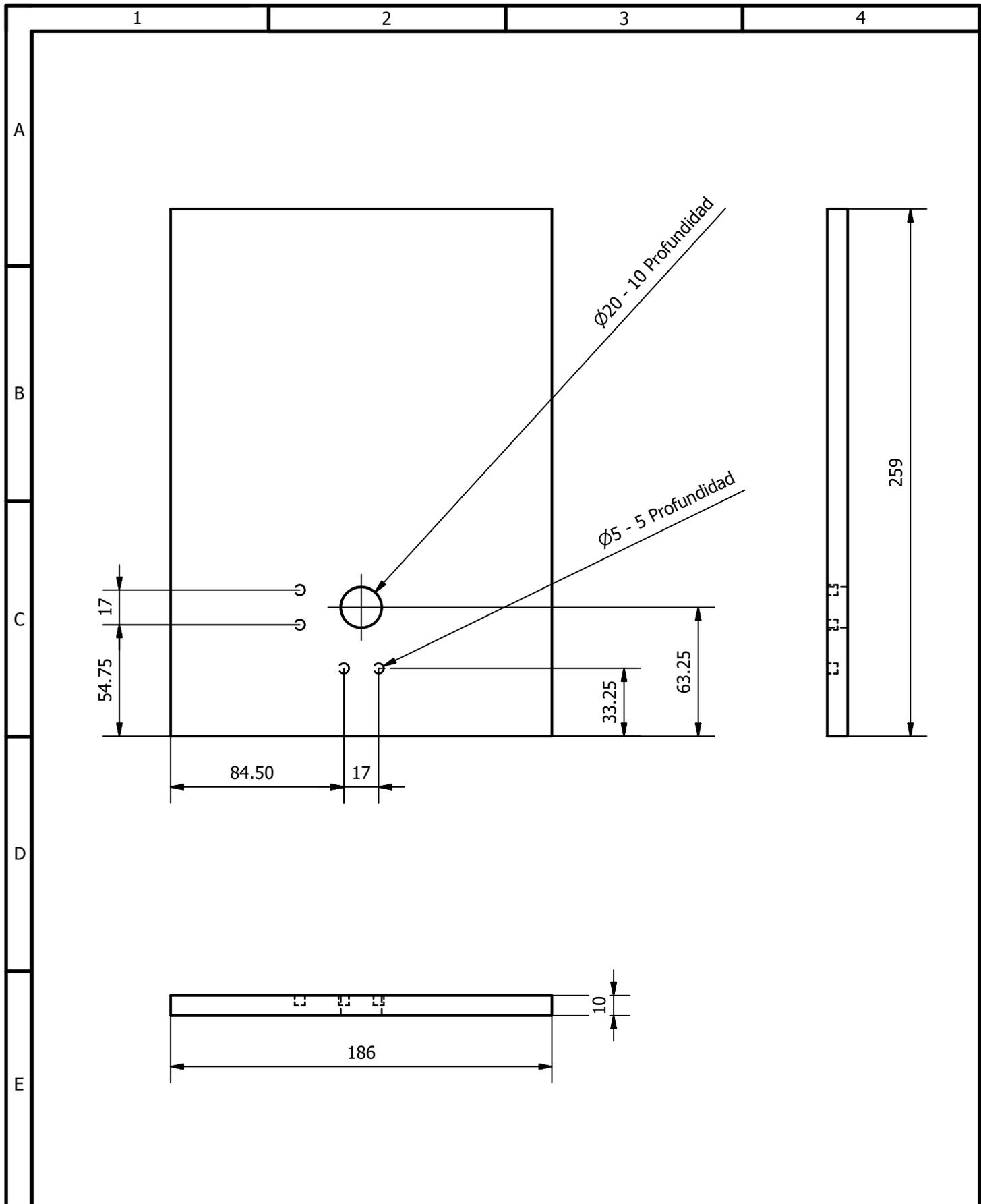
				Tolerancias ± 0.1	(Peso) 8.255 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación: PLACA GUÍA PARA EJES	
						Escala: 1:3.5	
						Número de dibujo: INGE-2722.205	
						(Sustitución)	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- bre				



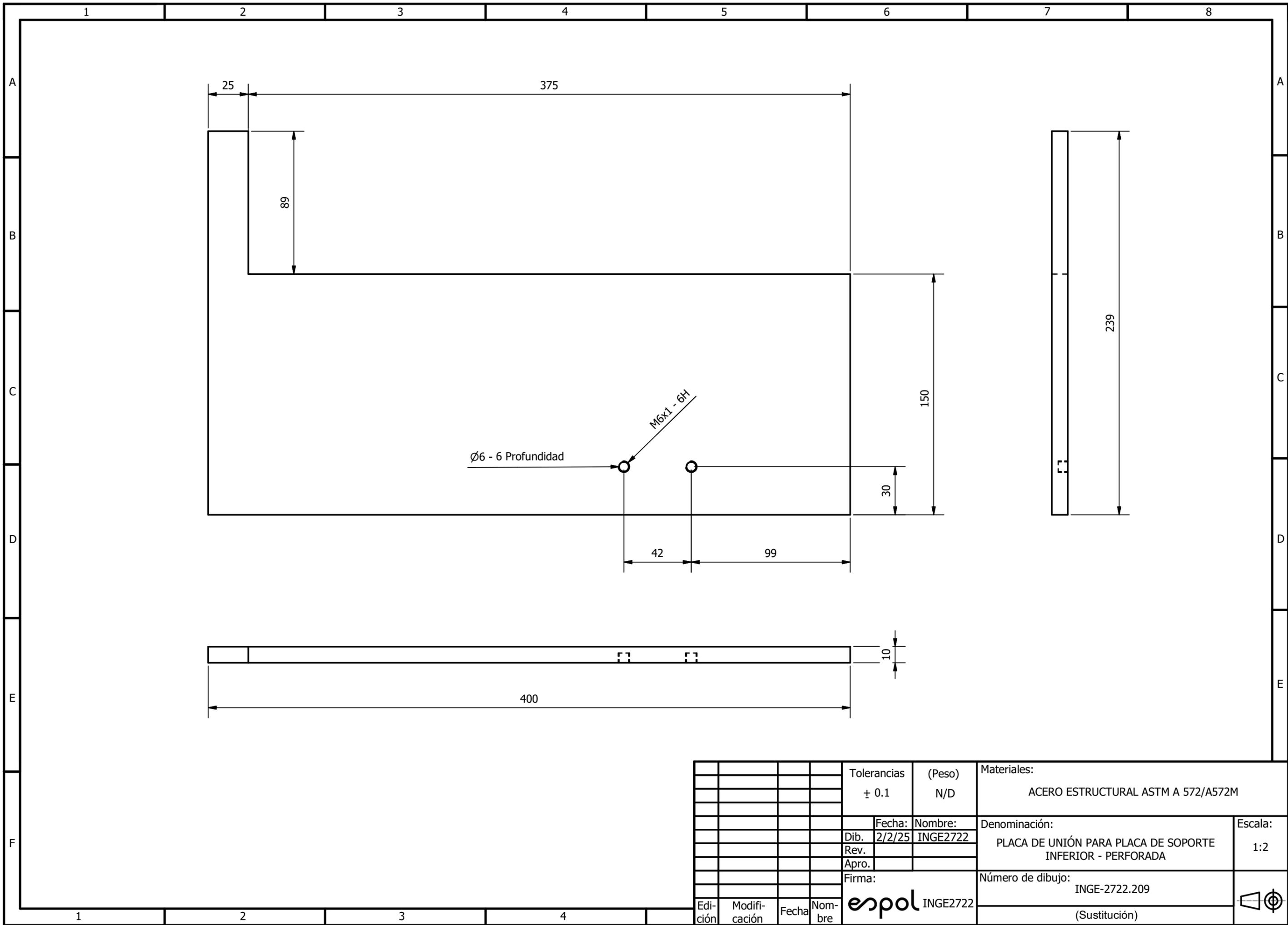
				Tolerancias ± 0.1	Peso 0.036 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: APOYO CIRCULAR PARA EJES	Escala: 2:1
				Div. 2/2/25	INGE2722		
				Rev.			
				Apro.		Número: INGE-2722.206 (Sustitución)	
				Firma:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancias ± 0.1	Peso 0.053 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: BASE PARA APOYO CIRCULAR	Escala: 2:1
				Div.			
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:		Número: INGE-2722.207	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

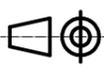


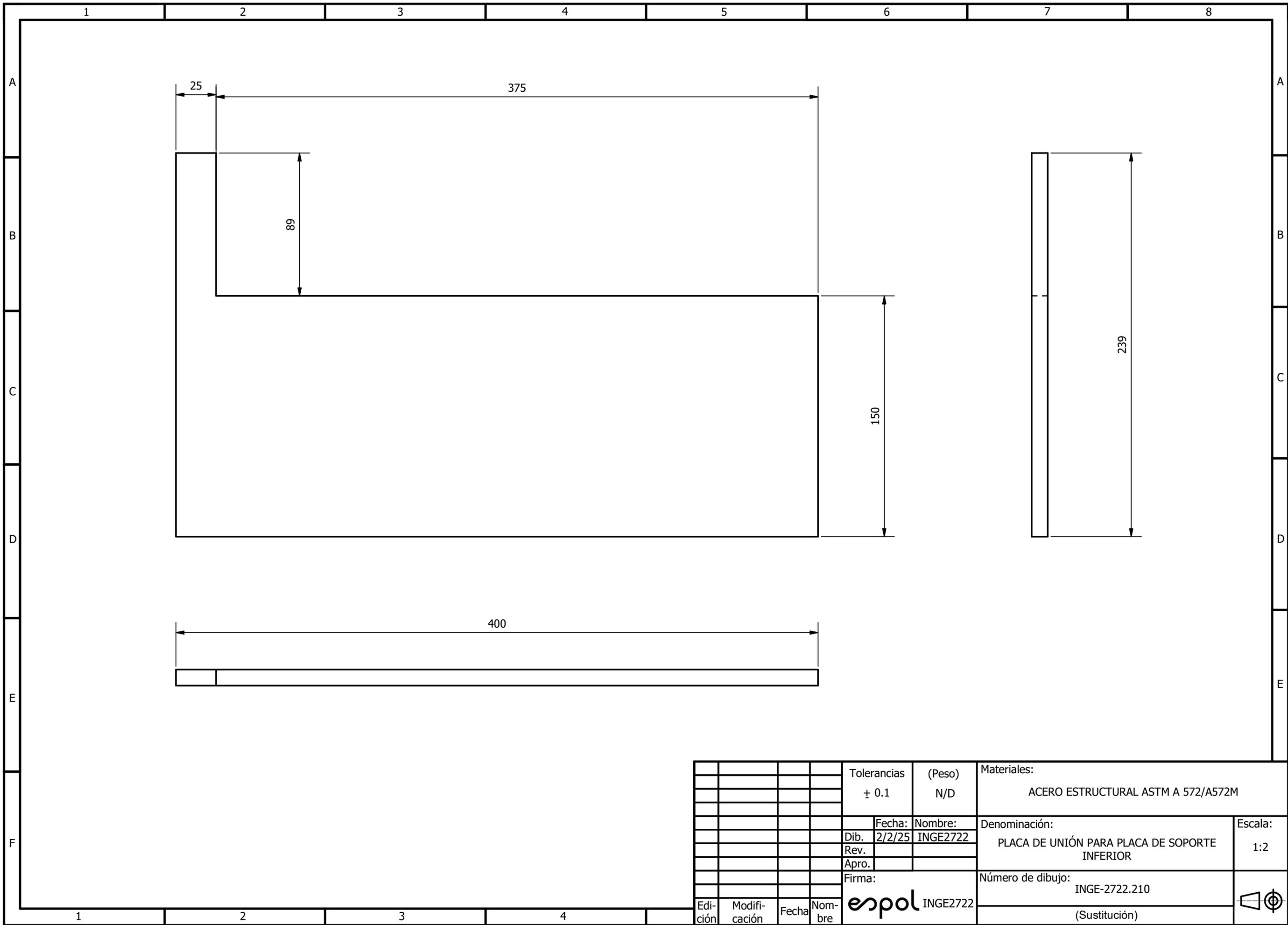
				Tolerancias $\pm 0.1$	Peso 3.754 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: PLACA DE SOPORTE INFERIOR	Escala: 1:2.5
				Div.			
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:		Número: INGE-2722.208	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



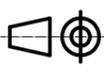
Ø6 - 6 Profundidad

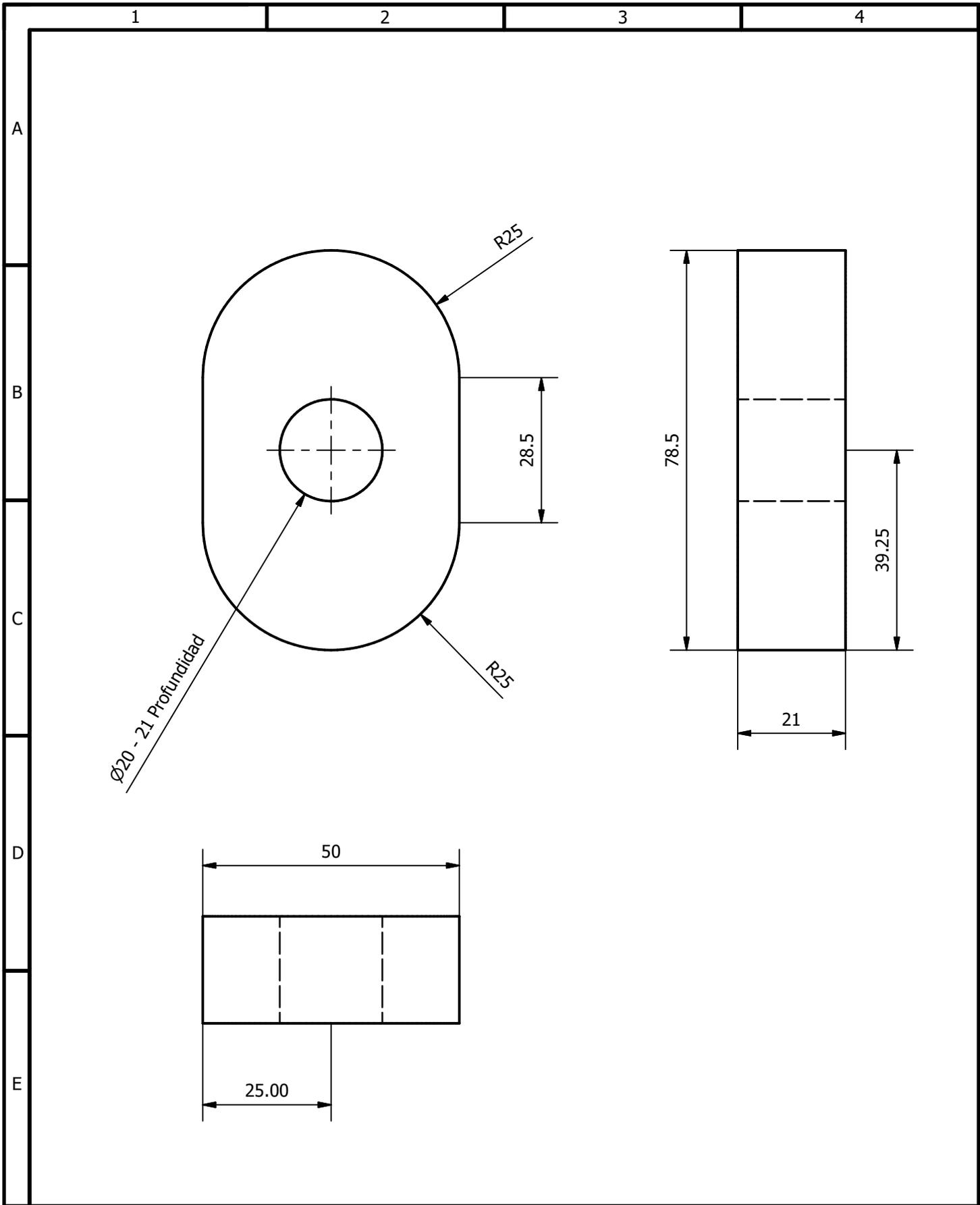
M6x1 - 6H

				Tolerancias ± 0.1	(Peso) N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación: PLACA DE UNIÓN PARA PLACA DE SOPORTE INFERIOR - PERFORADA	
						Escala: 1:2	
						Número de dibujo: INGE-2722.209	
						(Sustitución)	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- bre	espol INGE2722			

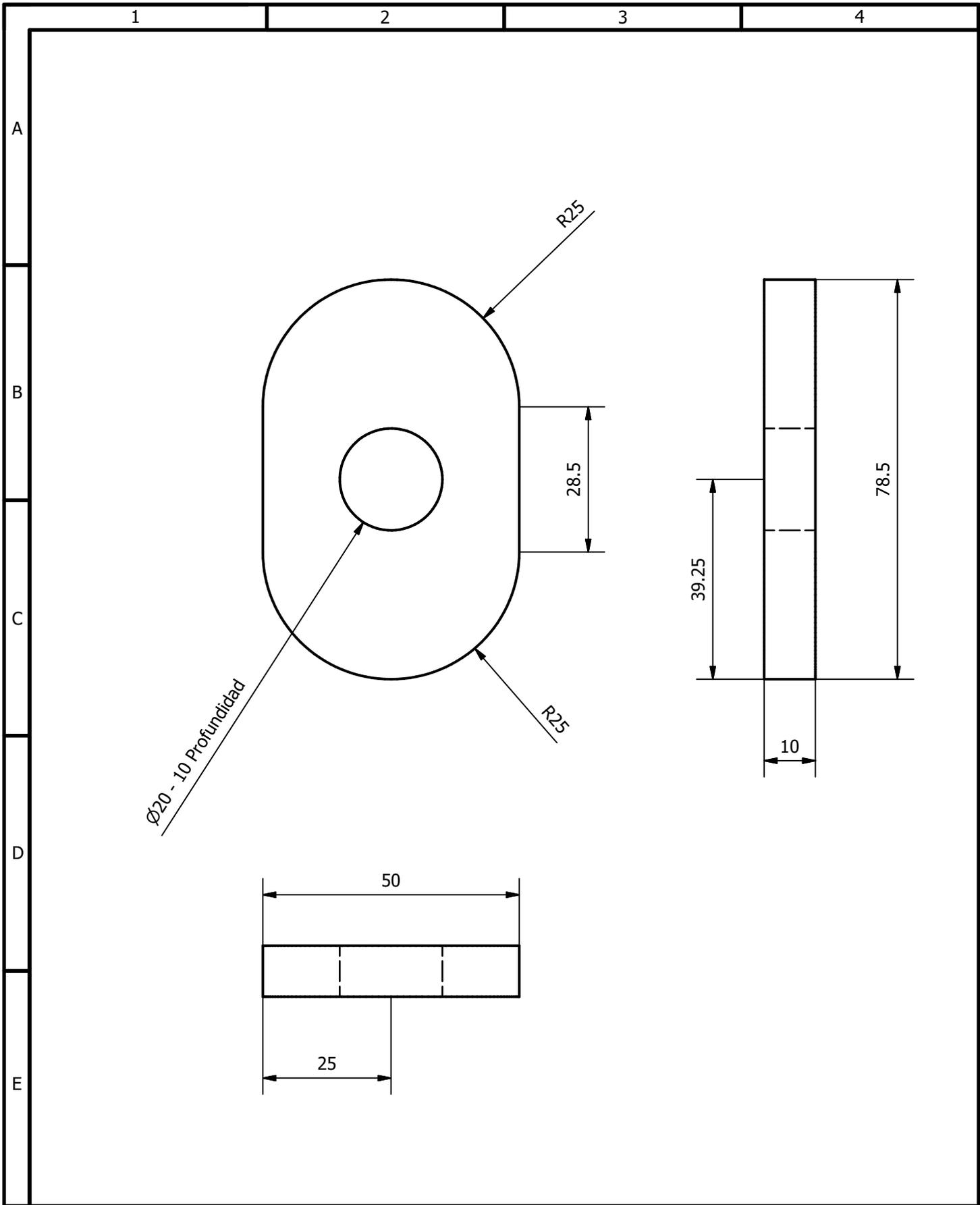


				Tolerancias ± 0.1	(Peso) N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación: PLACA DE UNIÓN PARA PLACA DE SOPORTE INFERIOR	
						Escala: 1:2	
						Número de dibujo: INGE-2722.210	
						Firma: espol INGE2722	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

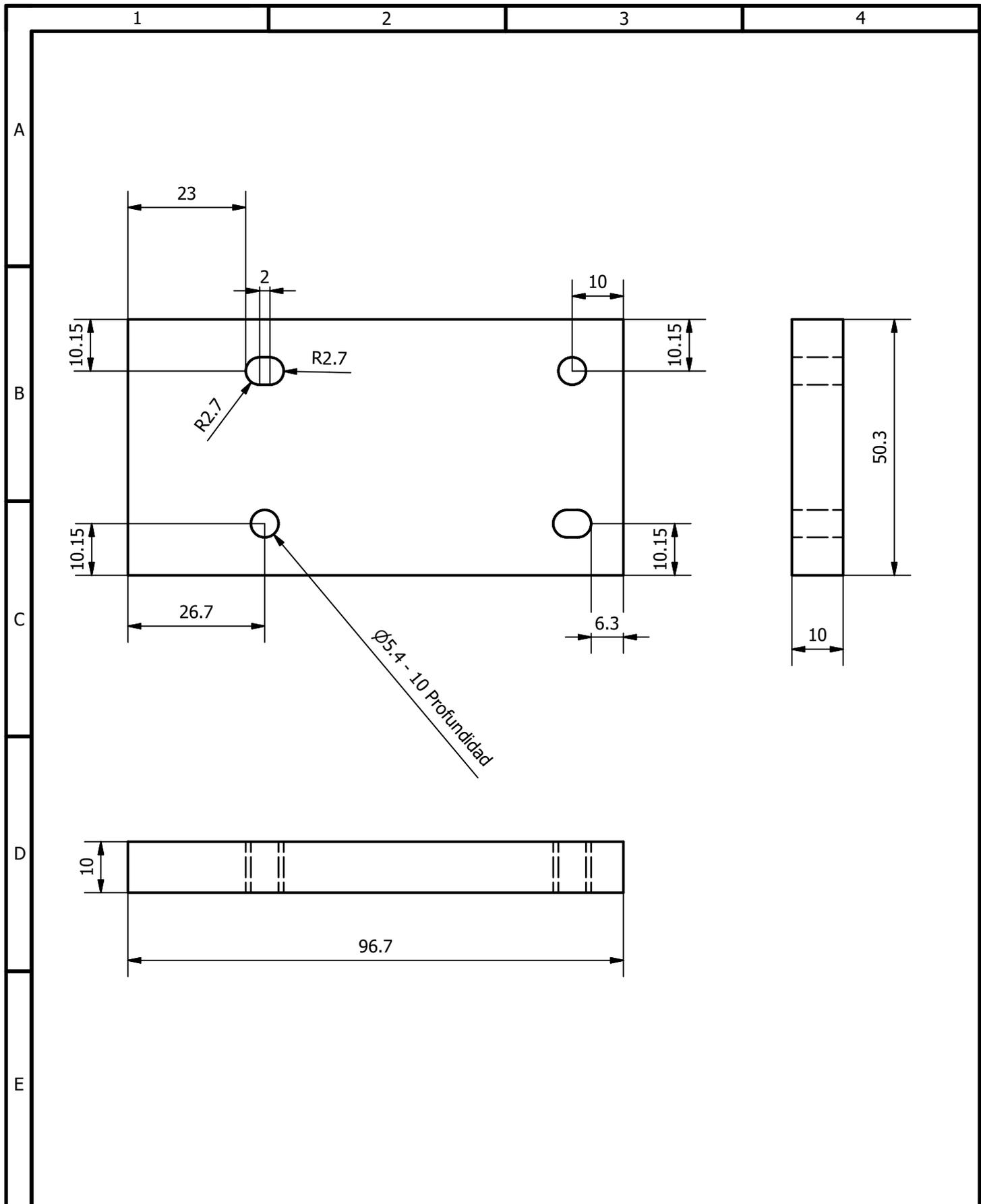




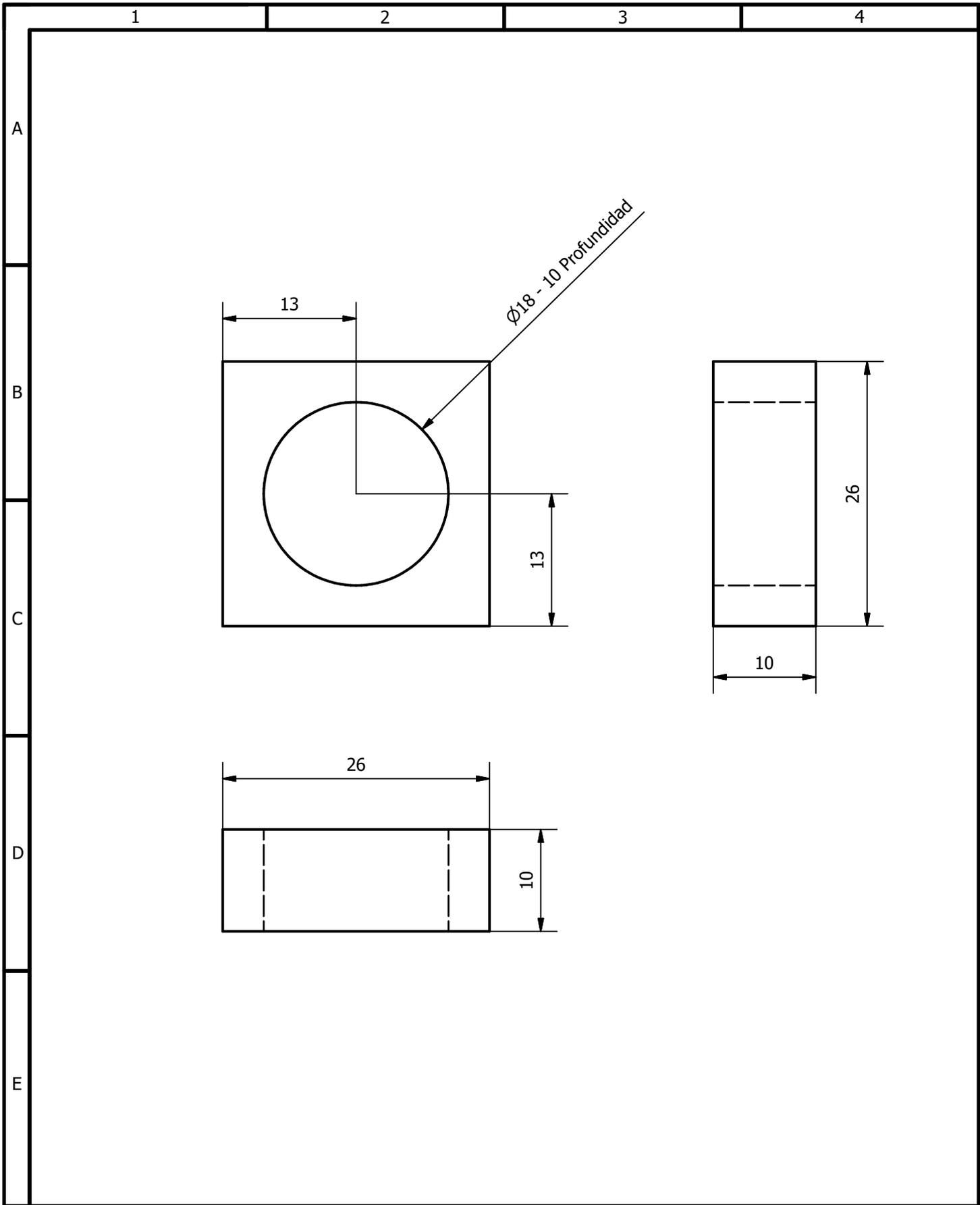
				Tolerancias ± 0.1	Peso 0.516 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: ACOPLE FIJO SOLDADO	Escala: 1:1
				Div. 2/2/25	INGE2722		
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:		Número: INGE-2722.211	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



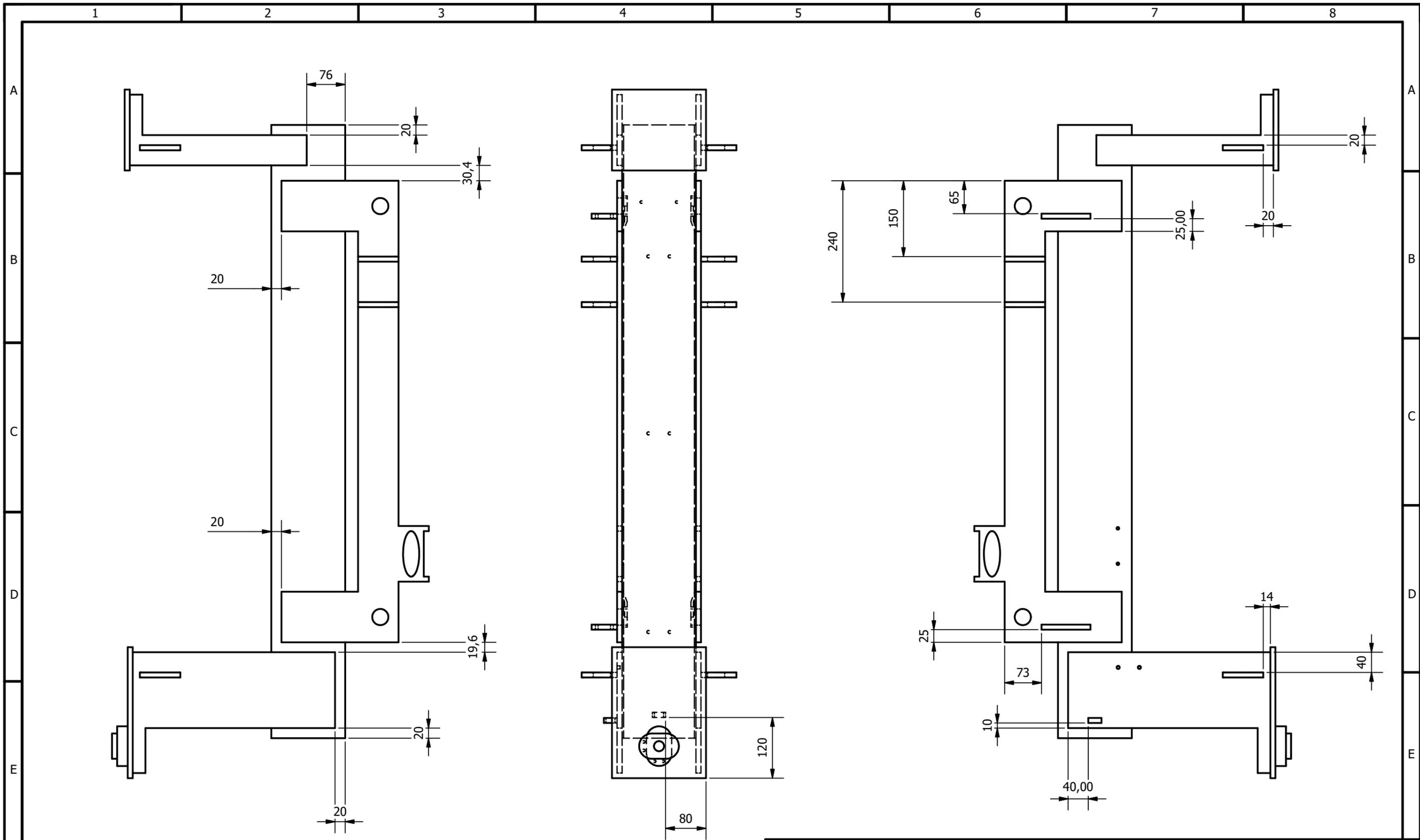
				Tolerancias ± 0.1	Peso 0.246 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: ACOPLE DE GIRO 90°	
				Div.		Escala: 1:1	
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:		Número: INGE-2722.212	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



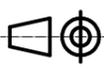
				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: PLACA DE APOYO - FINAL DE CARRERA	Escala: 1:1
				Div.			
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:		Número: INGE-2722.213	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGE2722		(Sustitución)	

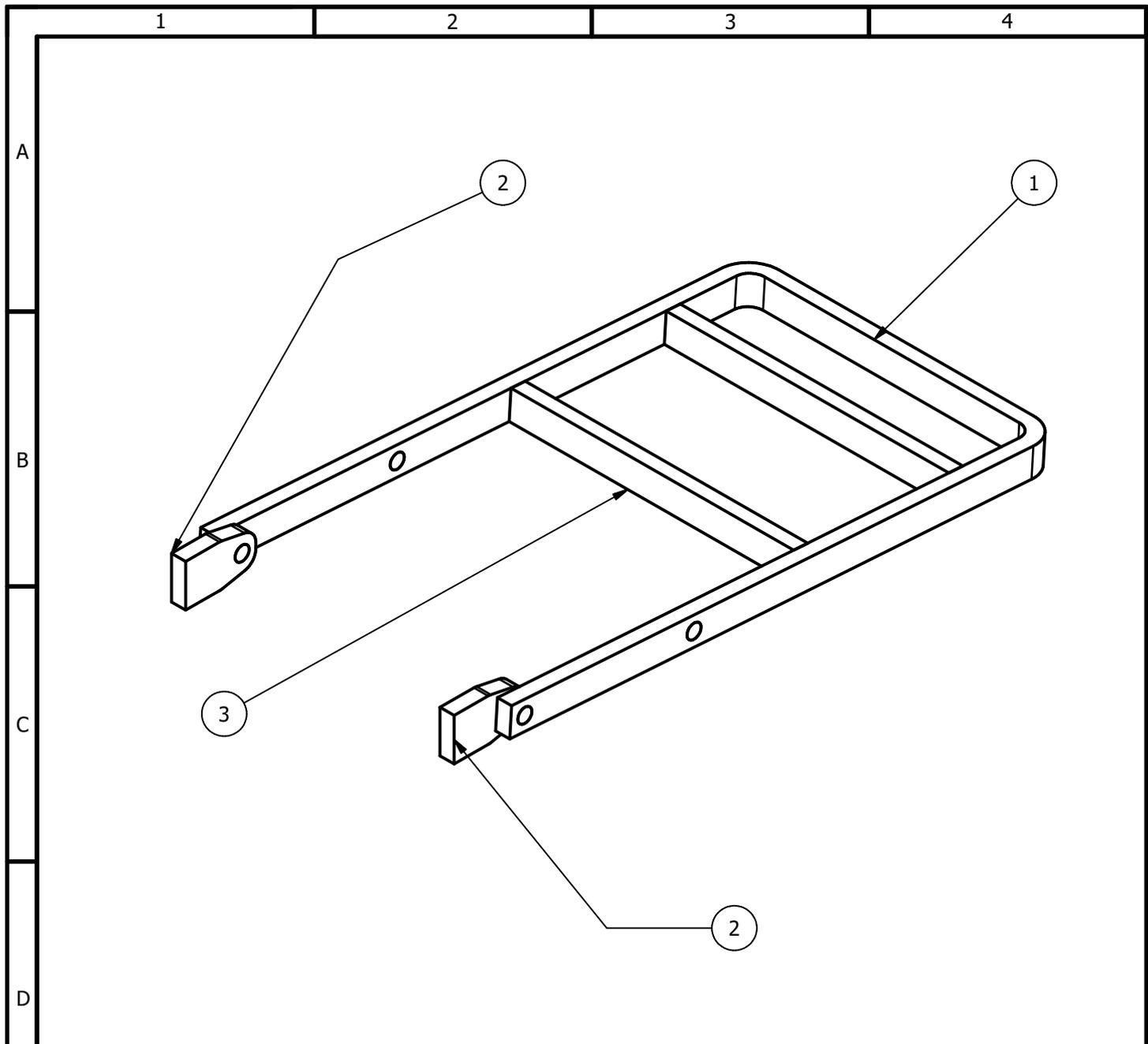


				Tolerancias $\pm 0.1$	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M		
					Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: PLACA DE APOYO - SENSOR INDUCTIVO	Escala: 2:1
					Div.			
					Rev.			
					Apro.			
					Firma:		Número: INGE-2722.214	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)	



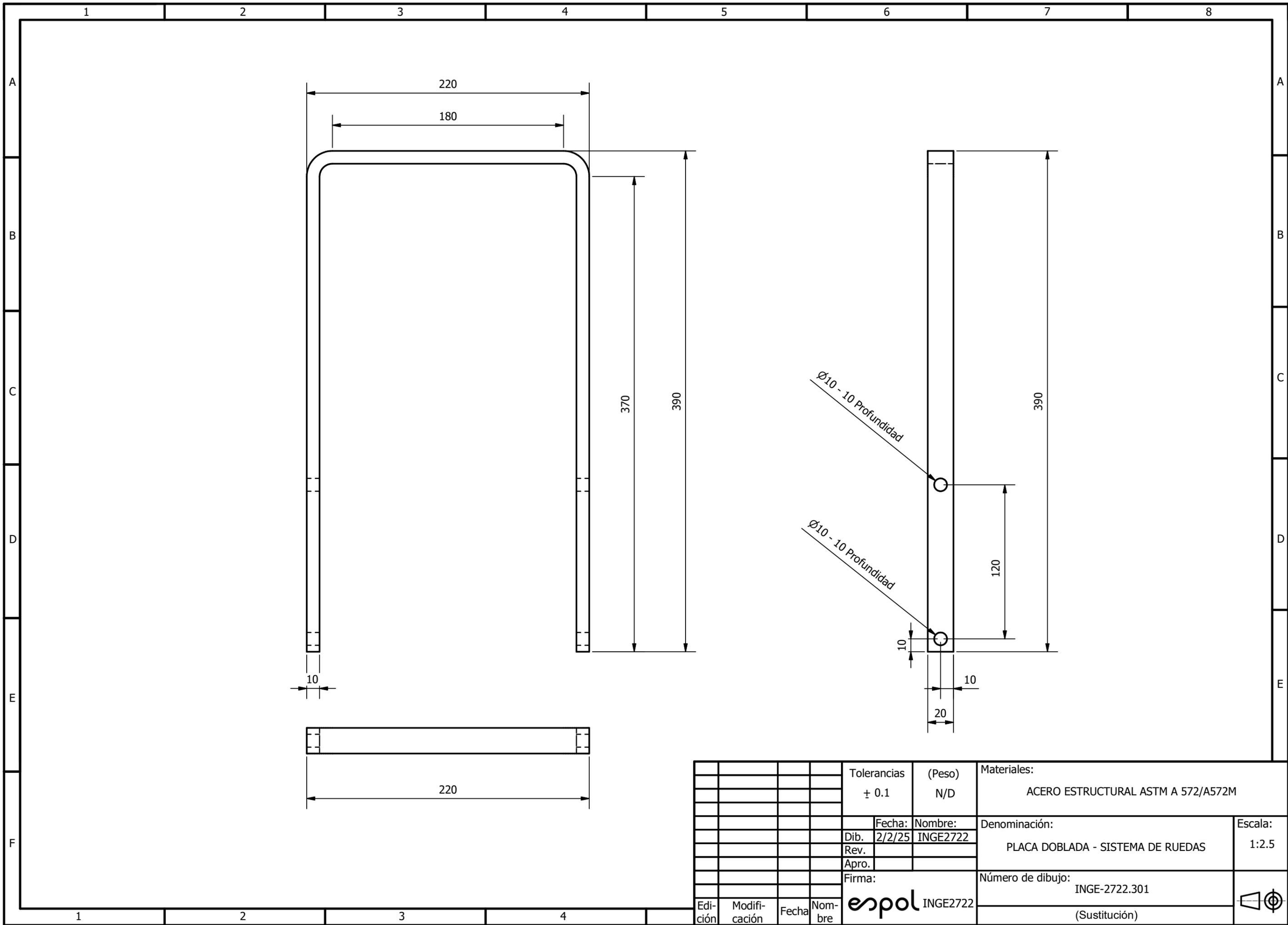
**Nota.** La vista frontal presenta las líneas ocultas, debido a que, en esta vista se señala la posición dispuesta para una de las Placas de apoyo - sensor inductivo.

				Tolerancias ± 0.1	(Peso) N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación: POSICIONES - CAMISA DESLIZANTE	
						Escala: 1:7	
						Número de dibujo: INGE-2722.215	
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Firma: <b>espol</b> INGE2722			

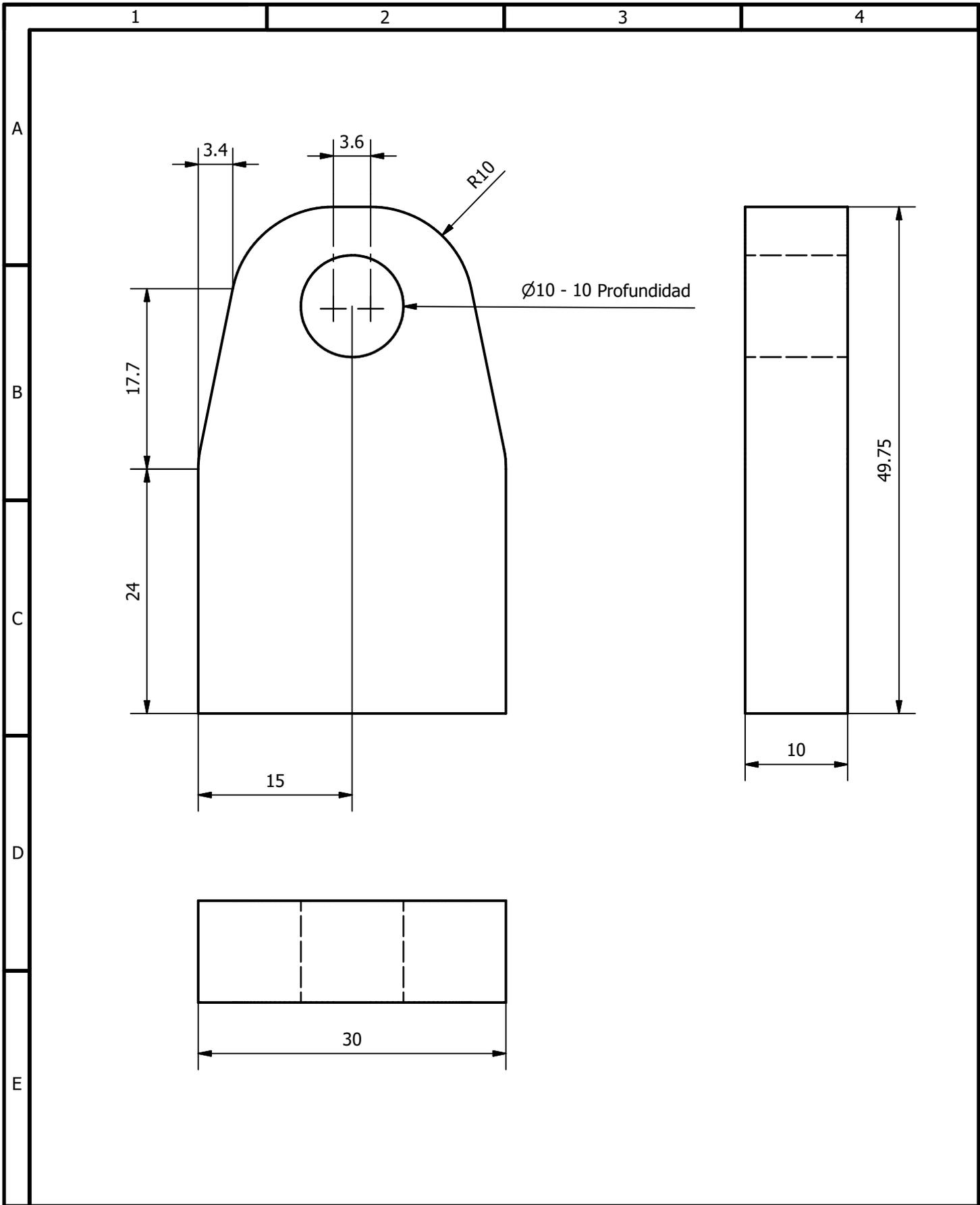


No de orden	No de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
1	1	Placa doblada - Sistema de ruedas		Estructura conformada por una Placa doblada y dos Placas de separación
2	2	Placas de giro - Sistema de ruedas		Placa soldada al Soporte Fijo - Unión por eje a la Placa doblada del Sistema de ruedas
3	2	Placa de separación - Sistema de ruedas		Placa soldada a la Placa doblada del Sistema de ruedas

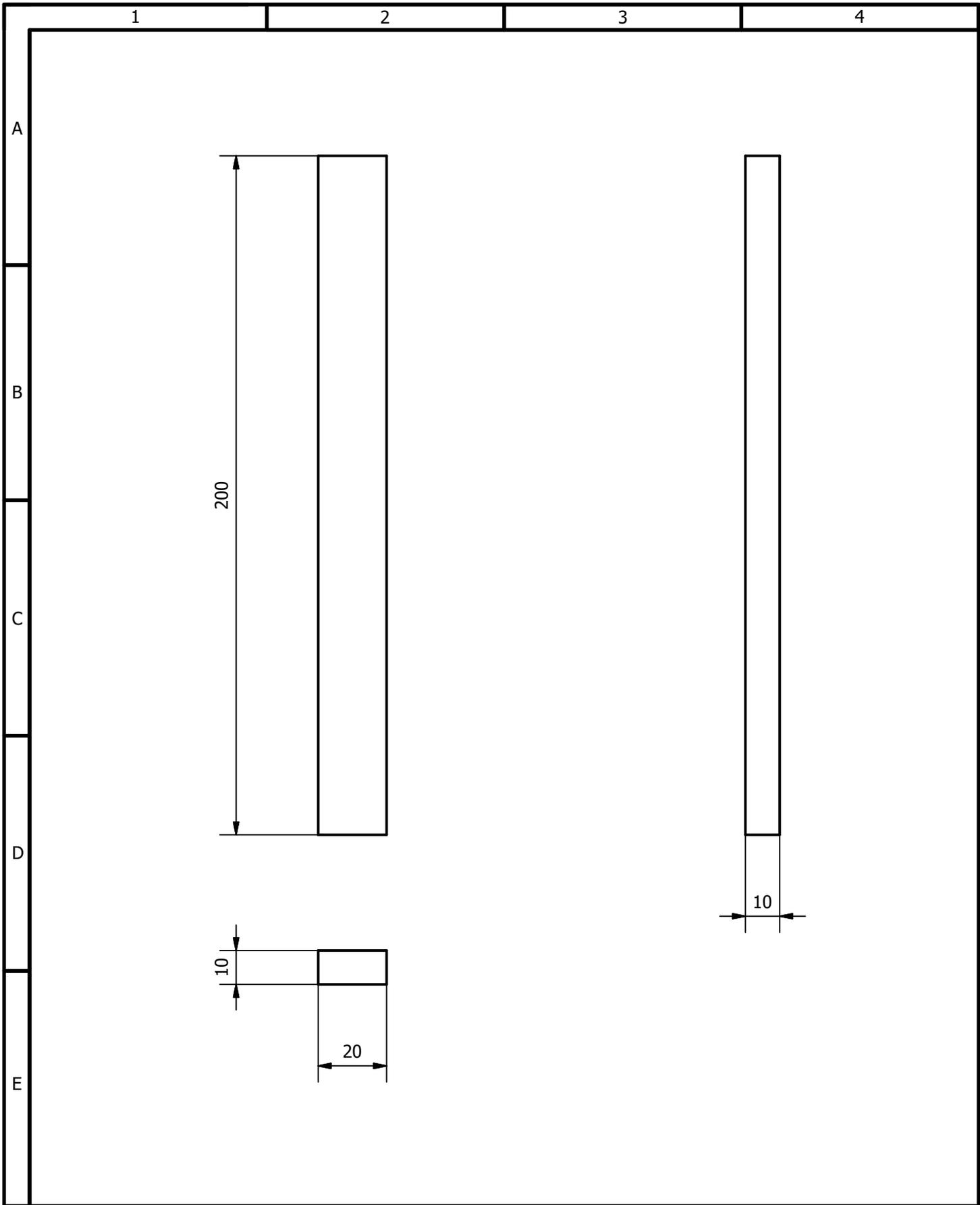
				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: ESTRUCTURA SISTEMA DE RUEDAS	Escala: 1:3
				Div.			
				Rev.		Número: INGE-2722.300 (Sustitución)	
				Apro.			
				Firma:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



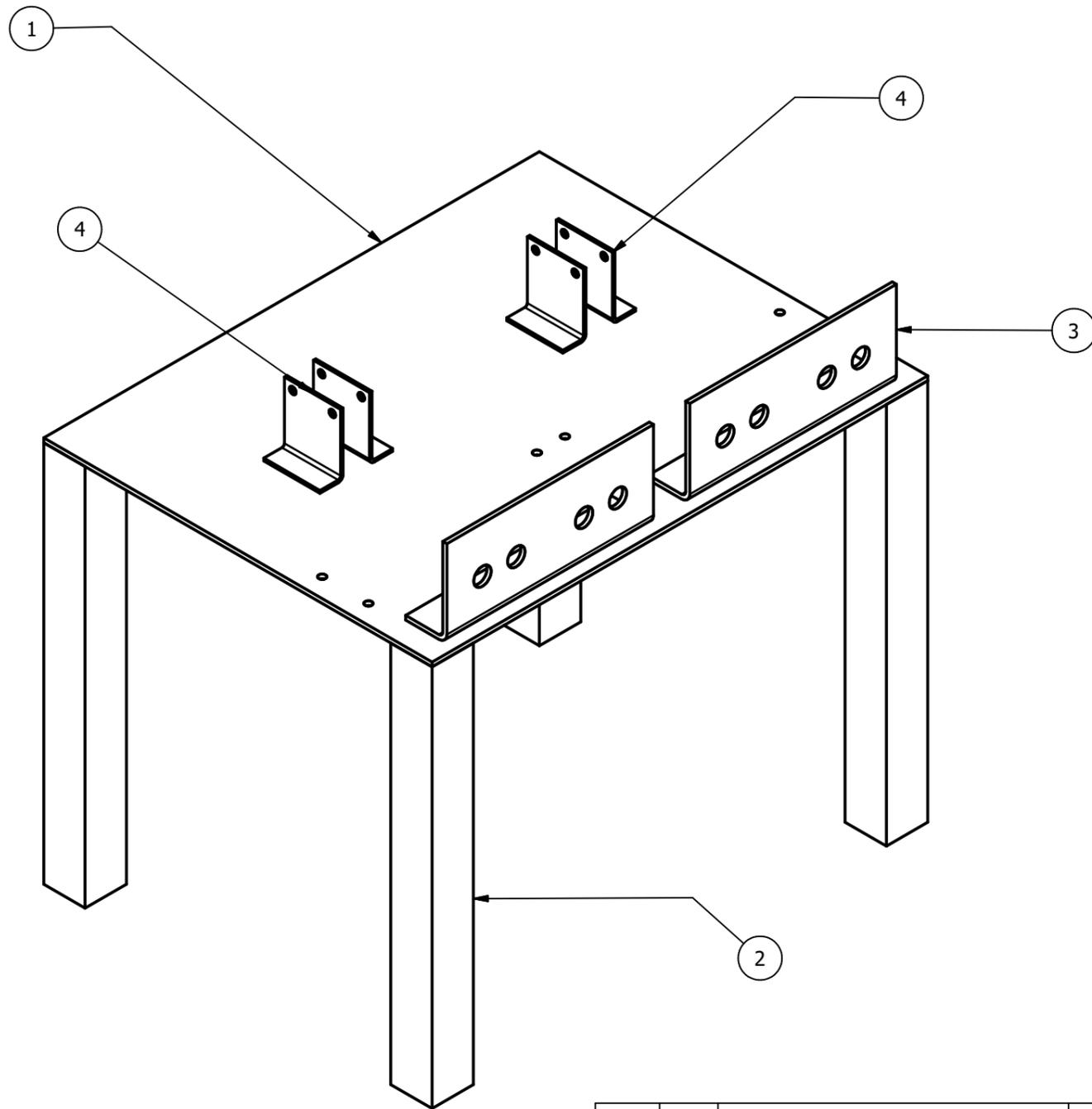
				Tolerancias ± 0.1	(Peso) N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación: PLACA DOBLADA - SISTEMA DE RUEDAS	
						Escala: 1:2.5	
						Número de dibujo: INGE-2722.301	
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancias ± 0.1	Peso 0.101 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: PLACA DE GIRO - SISTEMA DE RUEDAS	Escala: 2:1
				Div.		Número: INGE-2722.302 (Sustitución)	
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



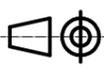
				Tolerancias	Peso	Materiales:	
				± 0.1	N/D	ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Div. 2/2/25	INGE2722	PLACA DE SEPARACIÓN - SISTEMA DE RUEDAS	1:1.5
				Rev.			
				Apro.		Número:	
				Firma:		INGE-2722.303	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

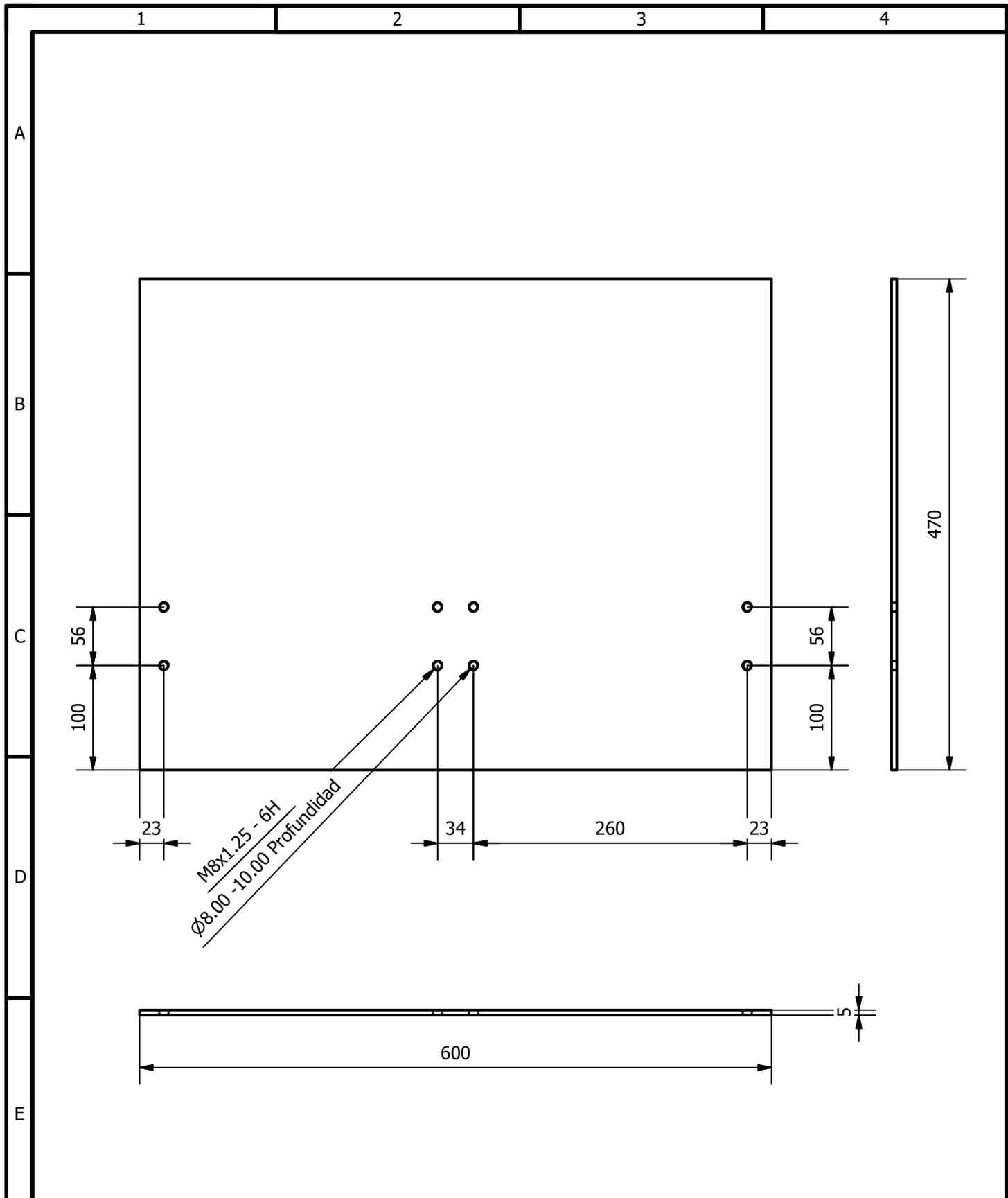


No. de orden	No. de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
1	1	Mesa - Componentes hidráulicos		-
2	4	Tubo cuadrado - Soporte de Mesa		-
3	2	Placa de salida de mangueras		-
4	4	Placa de sujeción del Regulador		-

				Tolerancias ± 0.1	(Peso) N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Rev.	
						Apro.	
						Firma:	
						Denominación: ESTRUCTURA MESA DE COMPONENTES	
						Escala: 1:5	
						Número de dibujo: INGE-2722.400	
						(Sustitución)	

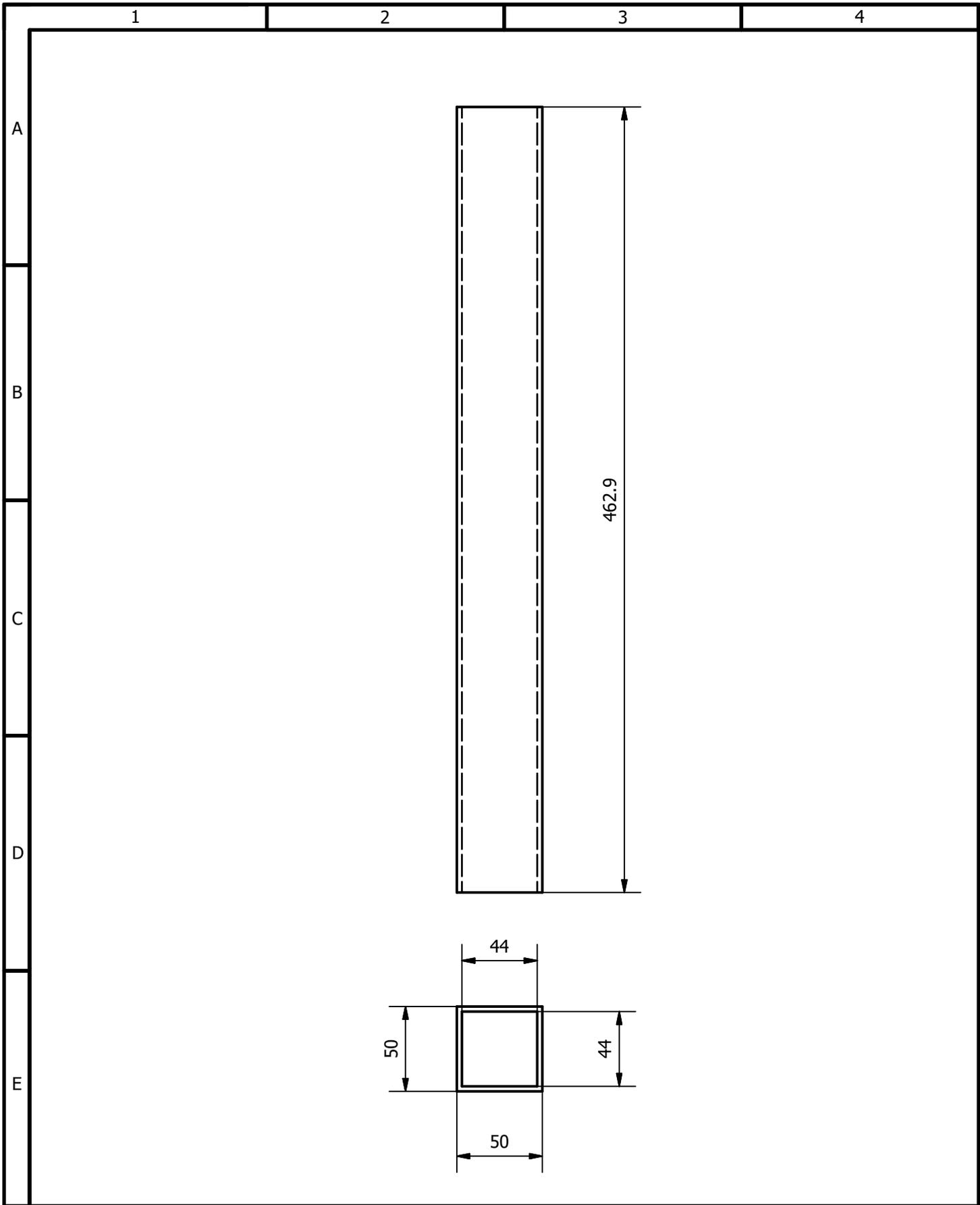
Edición Modificación Fecha Nombre **espol** INGE2722



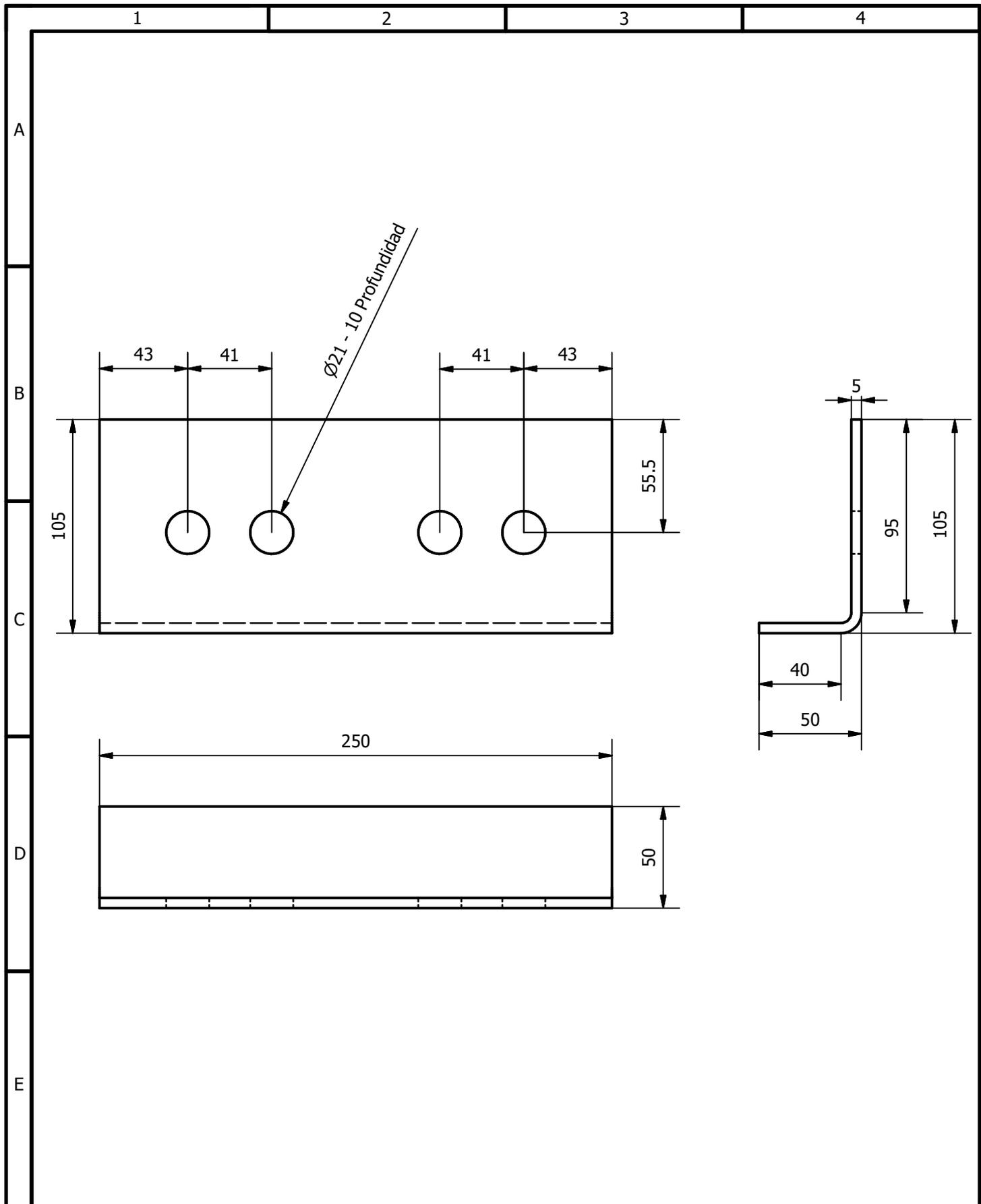


**Nota.** Todas las perforaciones presentan las mismas característica, pasantes y con rosca M8x1.25

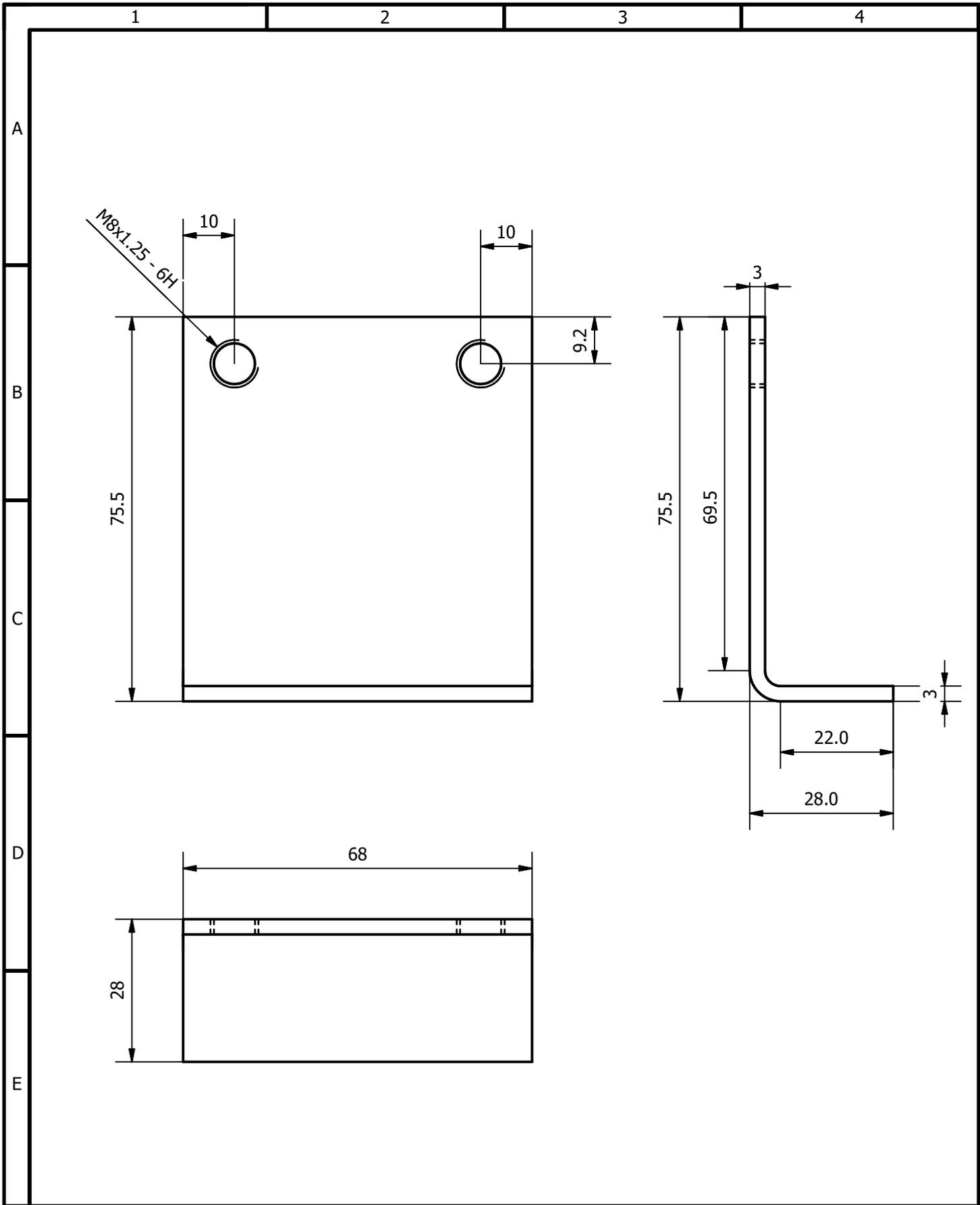
				Tolerancias	Peso	Materiales:	
				± 0.1	N/D	ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Div. 2/2/25	INGE2722	MESA - COMPONENTES HIDRÁULICOS	1:5
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:		Número:	
				INGE2722		INGE-2722.401	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

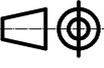


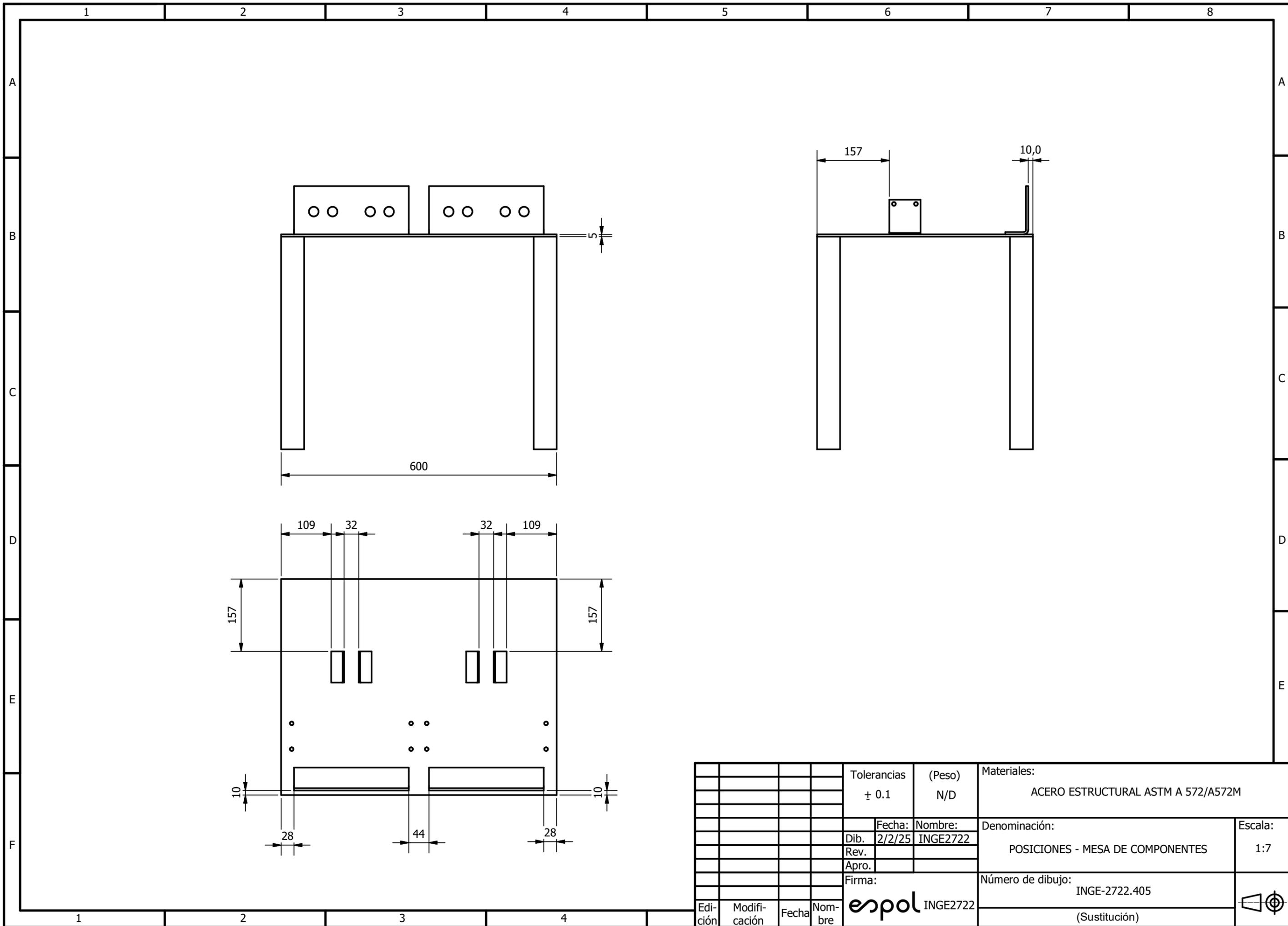
				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: TUBO CUADRADO - SOPORTE DE MESA	
				Div.		Escala: 1:3	
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:		Número: INGE-2722.402	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



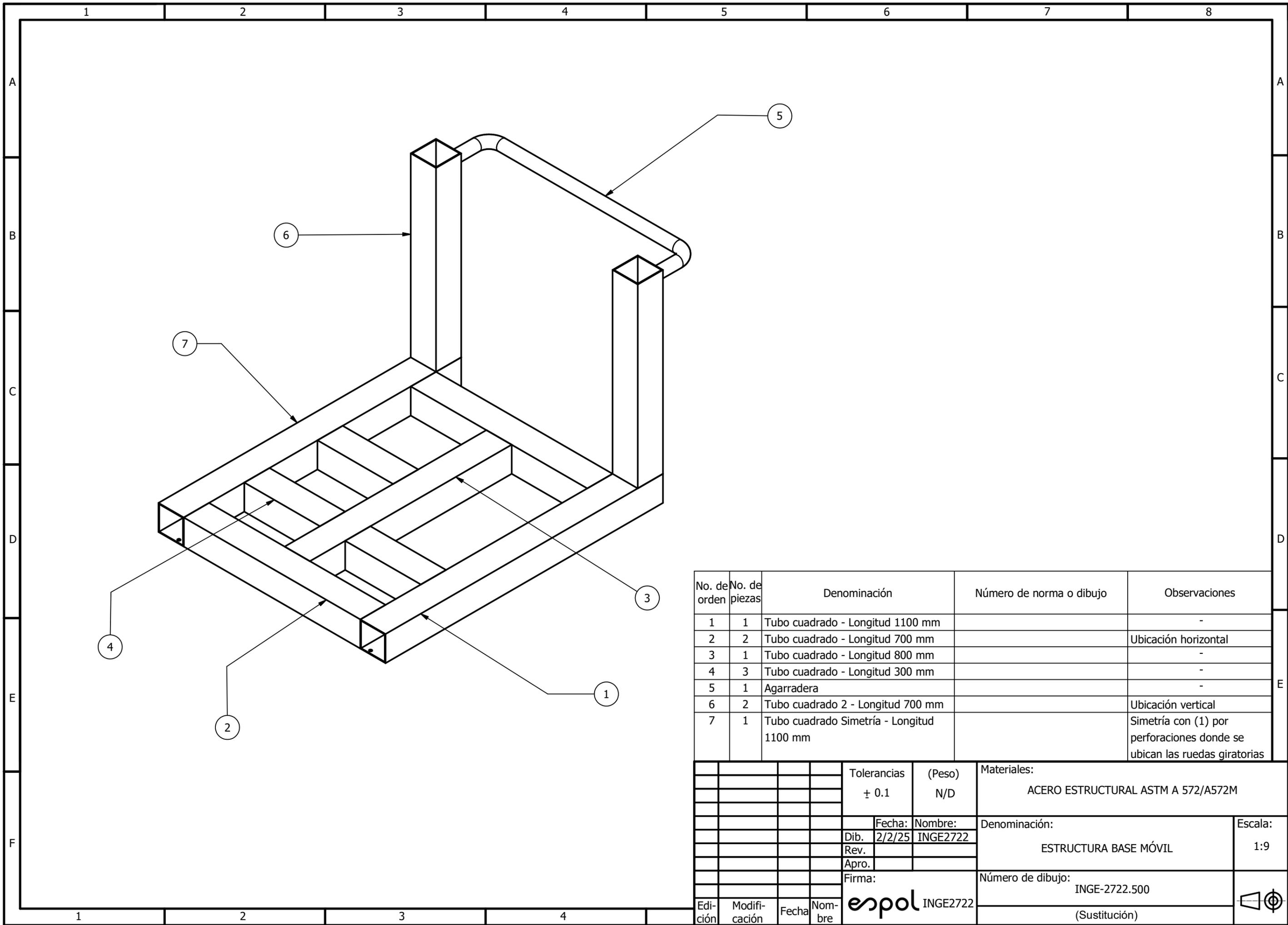
				Tolerancias ± 0.1	Peso 1.386 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: PLACA DE SALIDA DE MANGUERAS	Escala: 1:2.5
				Div.			
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:	Número: INGE-2722.403		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancias ± 0.1	Peso 0.155 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: PLACA DE SUJECIÓN DEL REGULADOR	Escala: 1:1
				Div.			
				Rev.		Número: INGE-2722.404 (Sustitución)	
				Apro.			
				Firma:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	 INGE2722			

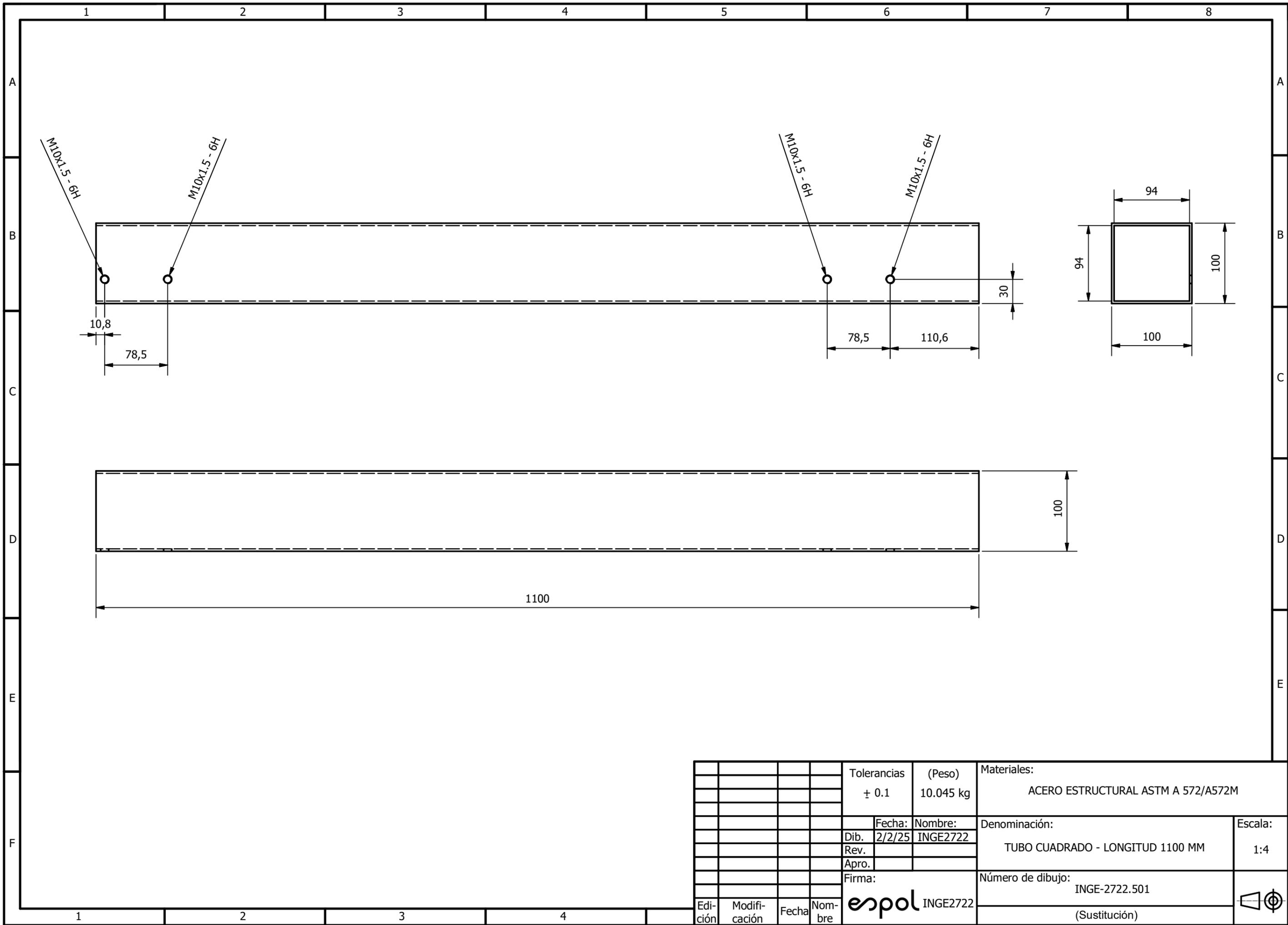


				Tolerancias ± 0.1	(Peso) N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación: POSICIONES - MESA DE COMPONENTES	
						Escala: 1:7	
						Número de dibujo: INGE-2722.405	
						Firma: INGE2722	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	espol		(Sustitución)	

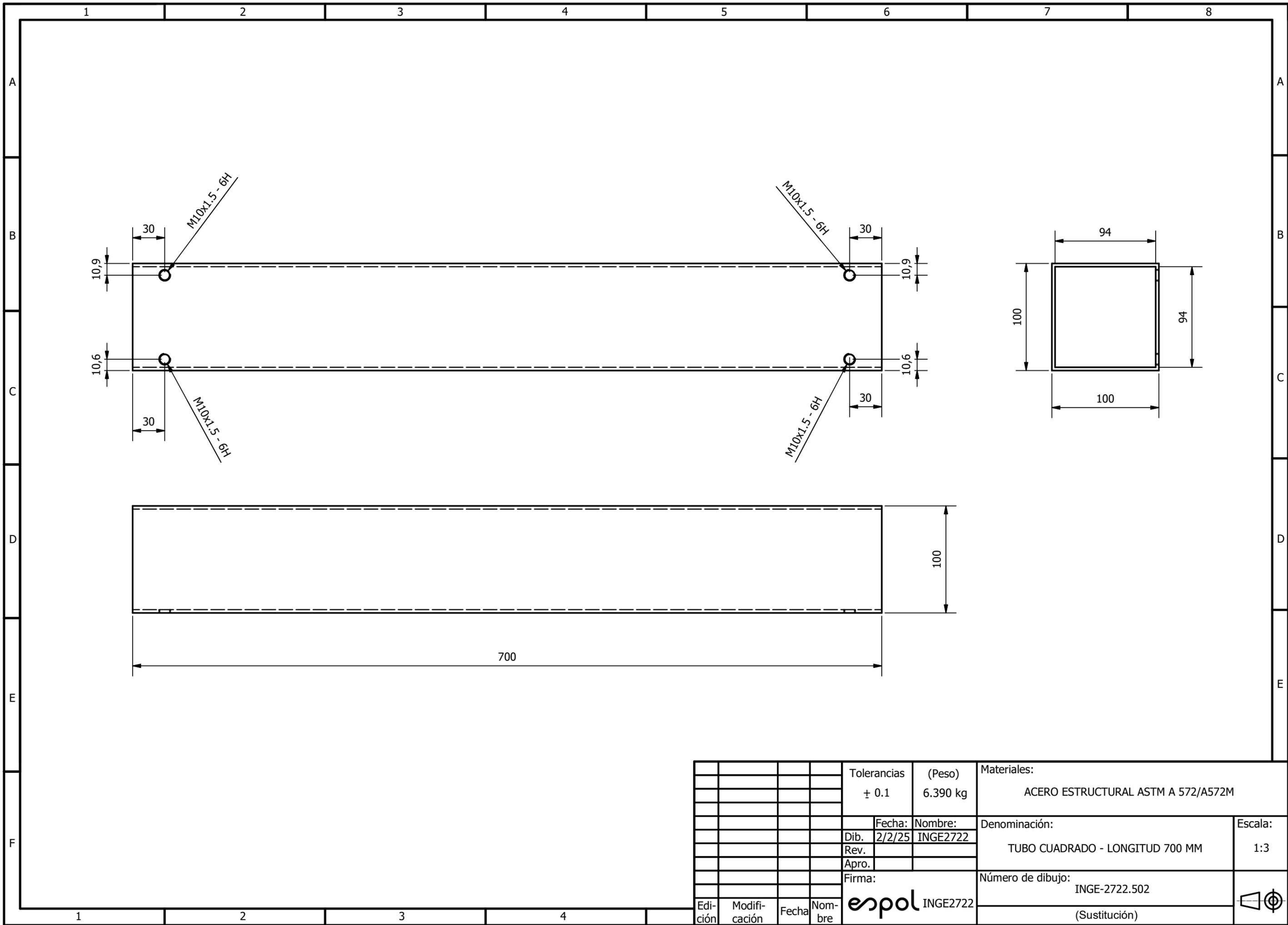


No. de orden	No. de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
1	1	Tubo cuadrado - Longitud 1100 mm		-
2	2	Tubo cuadrado - Longitud 700 mm		Ubicación horizontal
3	1	Tubo cuadrado - Longitud 800 mm		-
4	3	Tubo cuadrado - Longitud 300 mm		-
5	1	Agarradera		-
6	2	Tubo cuadrado 2 - Longitud 700 mm		Ubicación vertical
7	1	Tubo cuadrado Simetría - Longitud 1100 mm		Simetría con (1) por perforaciones donde se ubican las ruedas giratorias

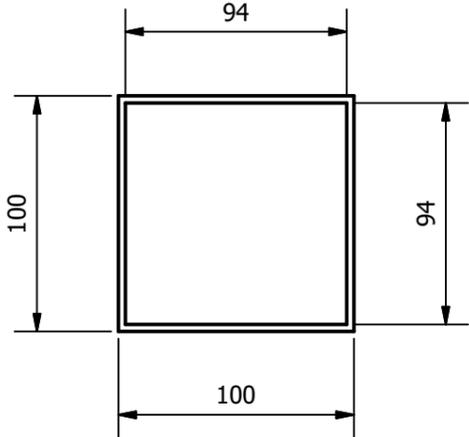
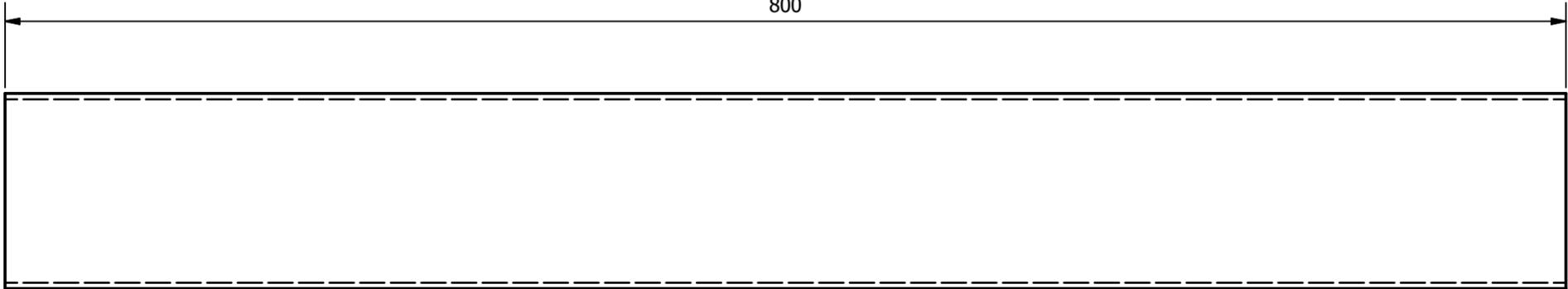
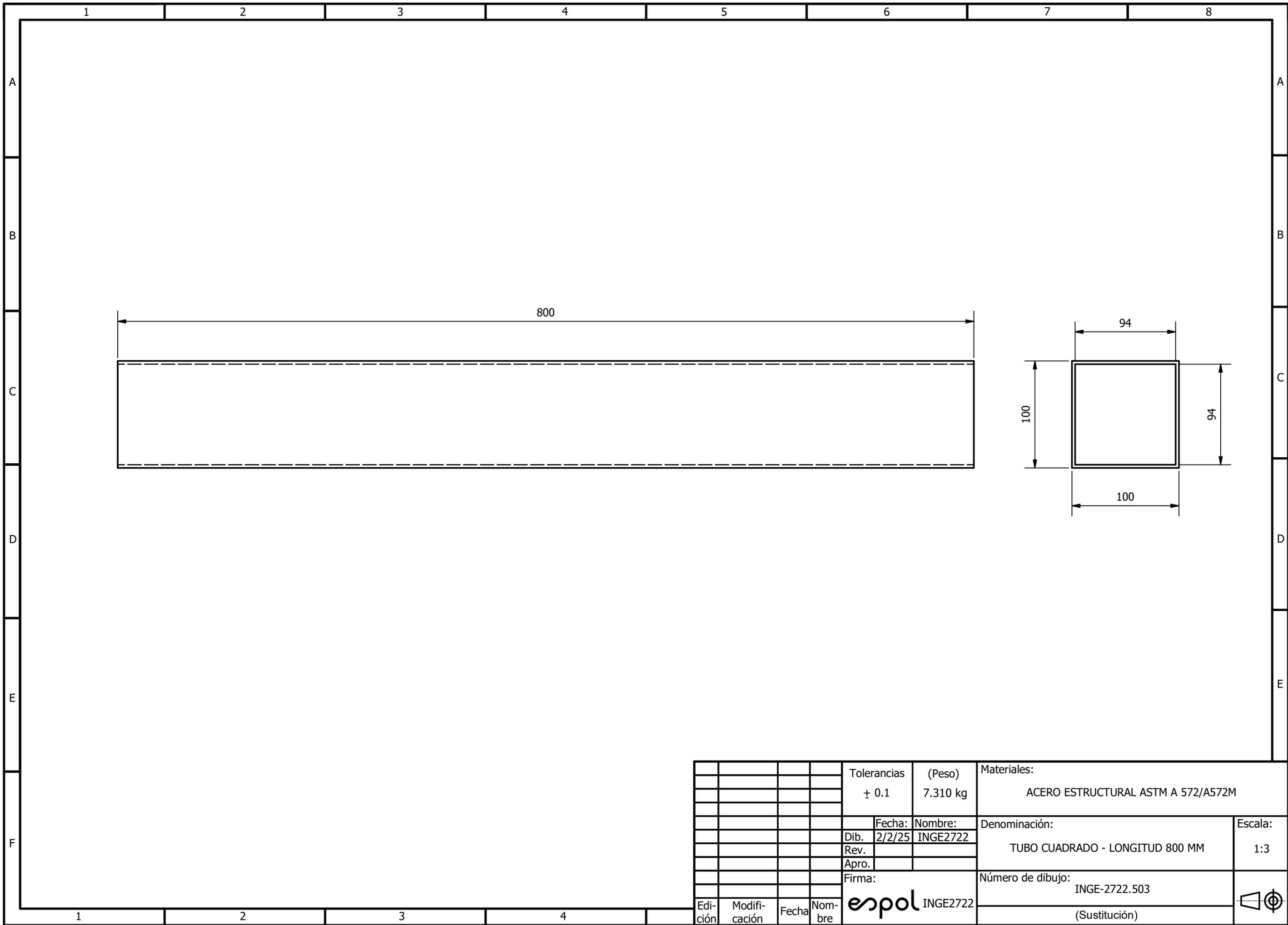
				Tolerancias ± 0.1	(Peso) N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación:	Escala: 1:9
						Rev.	
						Apro.	
						Firma:	Número de dibujo: INGE-2722.500
							(Sustitución)
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	espol INGE2722			



				Tolerancias ± 0.1	(Peso) 10.045 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M		
					Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: TUBO CUADRADO - LONGITUD 1100 MM	Escala: 1:4
							Número de dibujo: INGE-2722.501	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Firma: <b>espol</b> INGE2722		(Sustitución)		

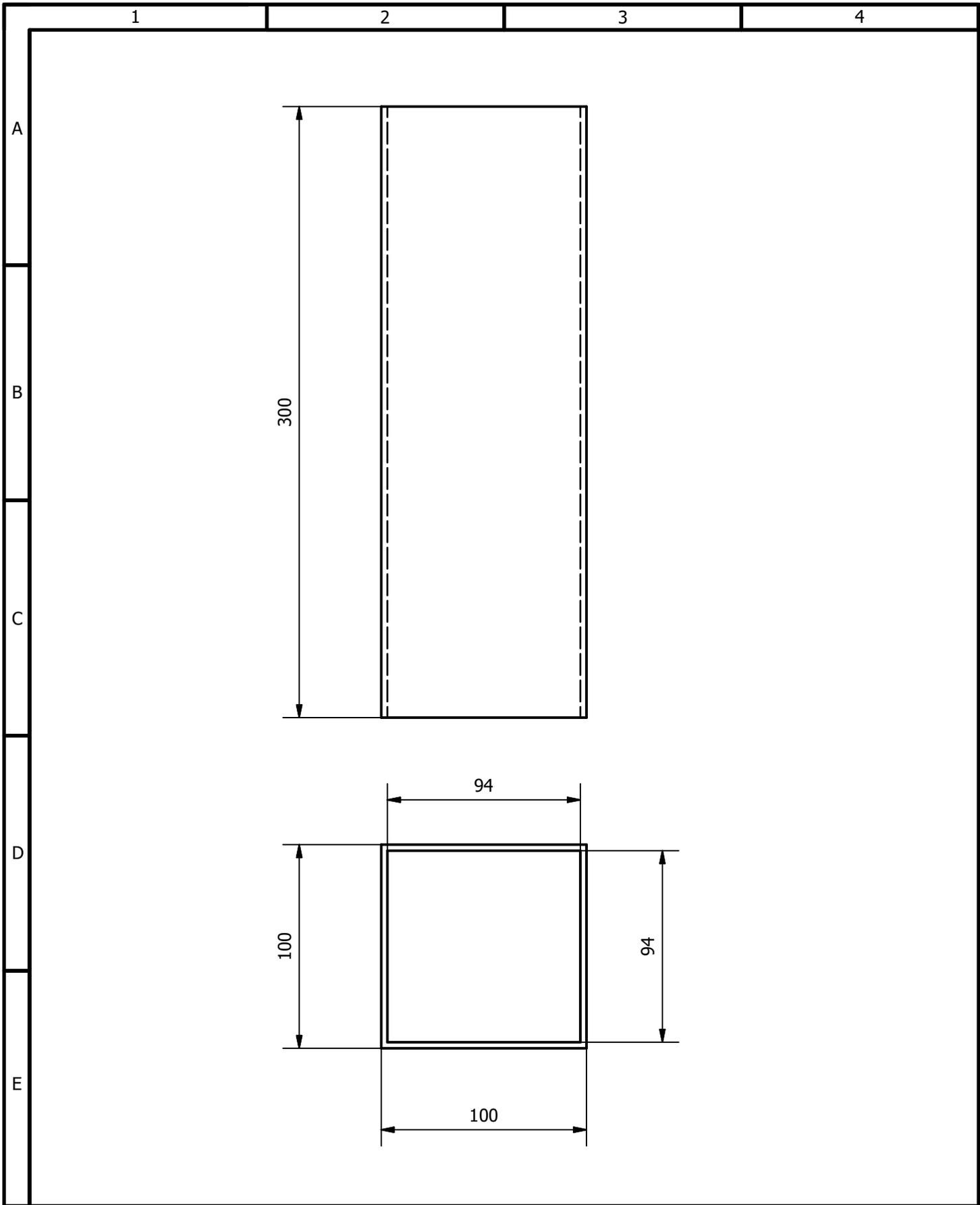


				Tolerancias ± 0.1	(Peso) 6.390 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M		
						Denominación:	Escala:	
				Dib.	Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	TUBO CUADRADO - LONGITUD 700 MM	1:3
				Rev.				
				Apro.				
				Firma:	espol INGE2722		Número de dibujo:	
							INGE-2722.502	
							(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

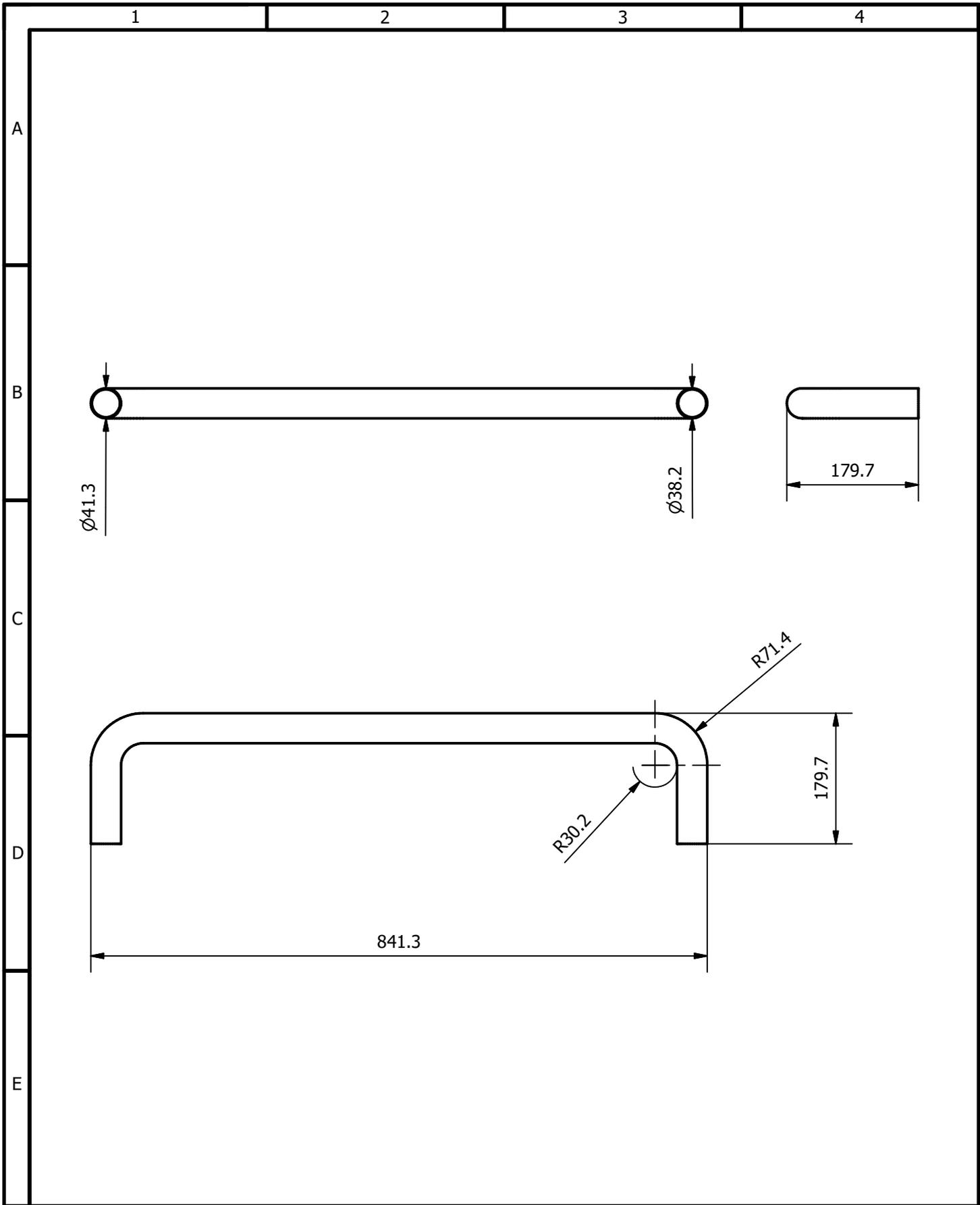


				Tolerancias ± 0.1	(Peso) 7.310 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación: TUBO CUADRADO - LONGITUD 800 MM	
						Escala: 1:3	
						Número de dibujo: INGE-2722.503	
						Firma: <b>espol</b> INGE2722	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



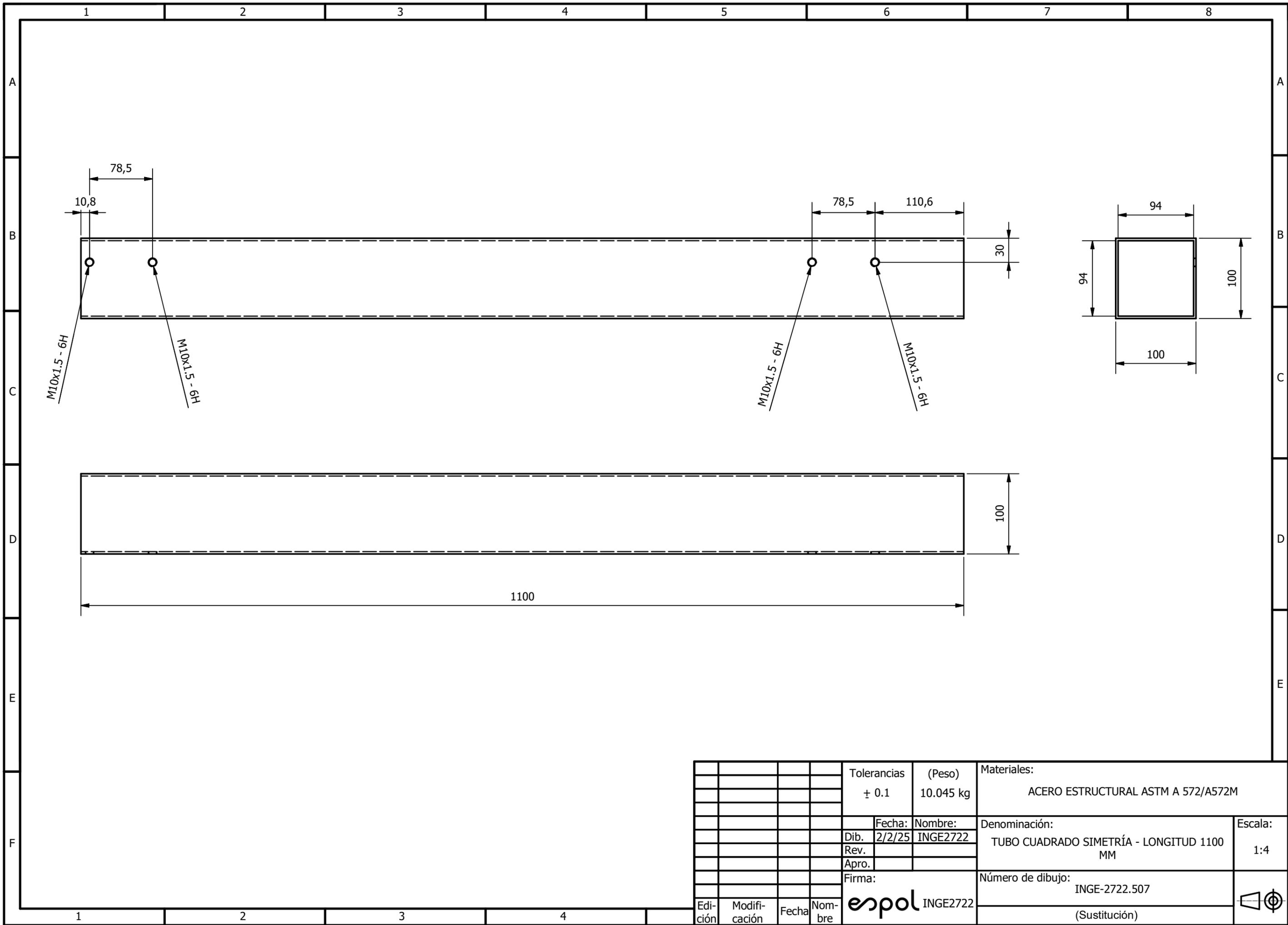


				Tolerancias ± 0.1	Peso 2.741 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Denominación: TUBO CUADRADO - LONGITUD 300 MM	Escala: 1:2.5
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722		
				Div.		Número: INGE-2722.504 (Sustitución)	
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

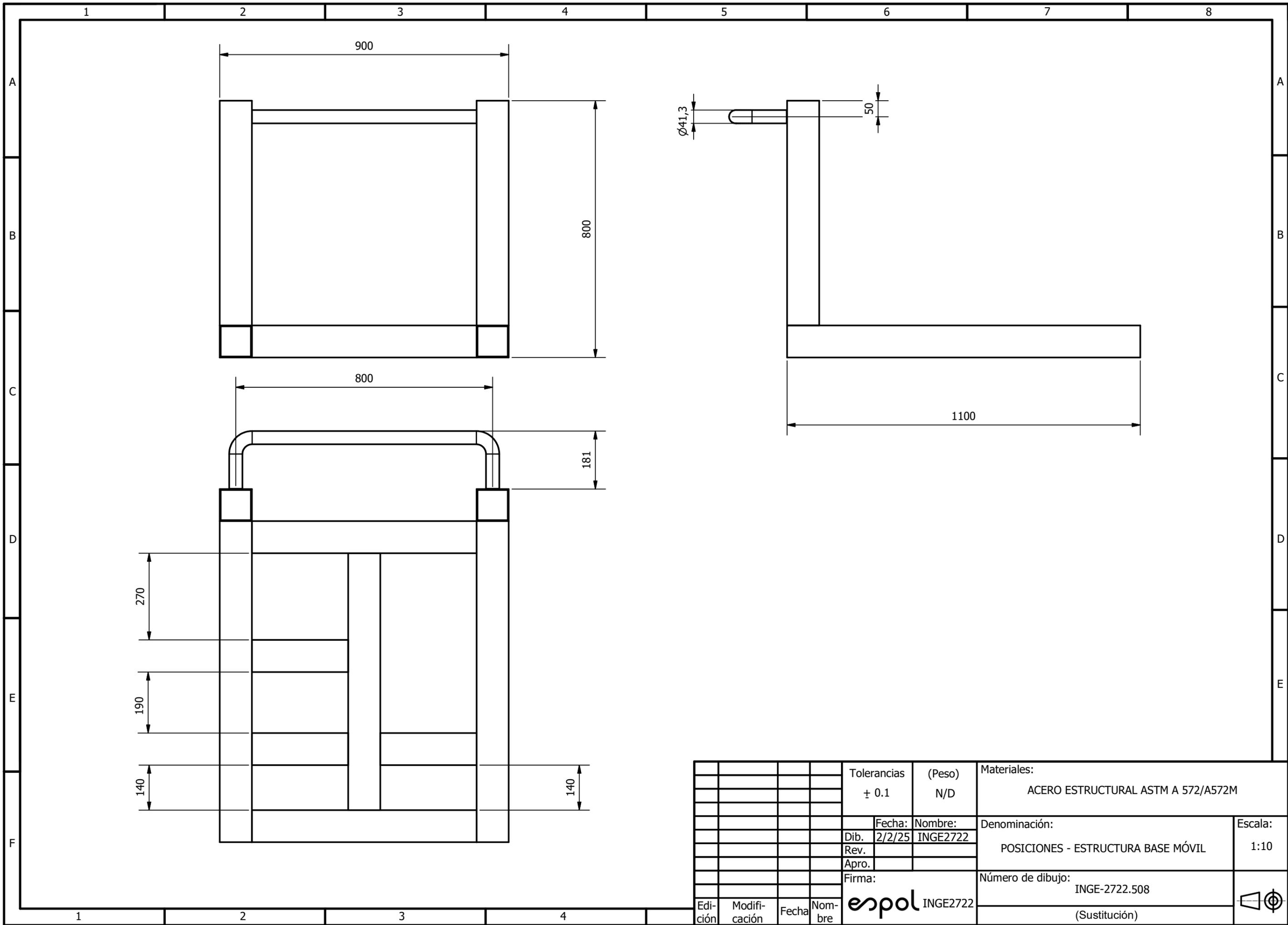


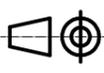
				Tolerancias ± 0.1	Peso N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
				Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: AGARRADERA	
				Div.		Escala: 1:7	
				Rev.			
				Apro.			
				Firma:		Número: INGE-2722.505	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGE2722 (Sustitución)			





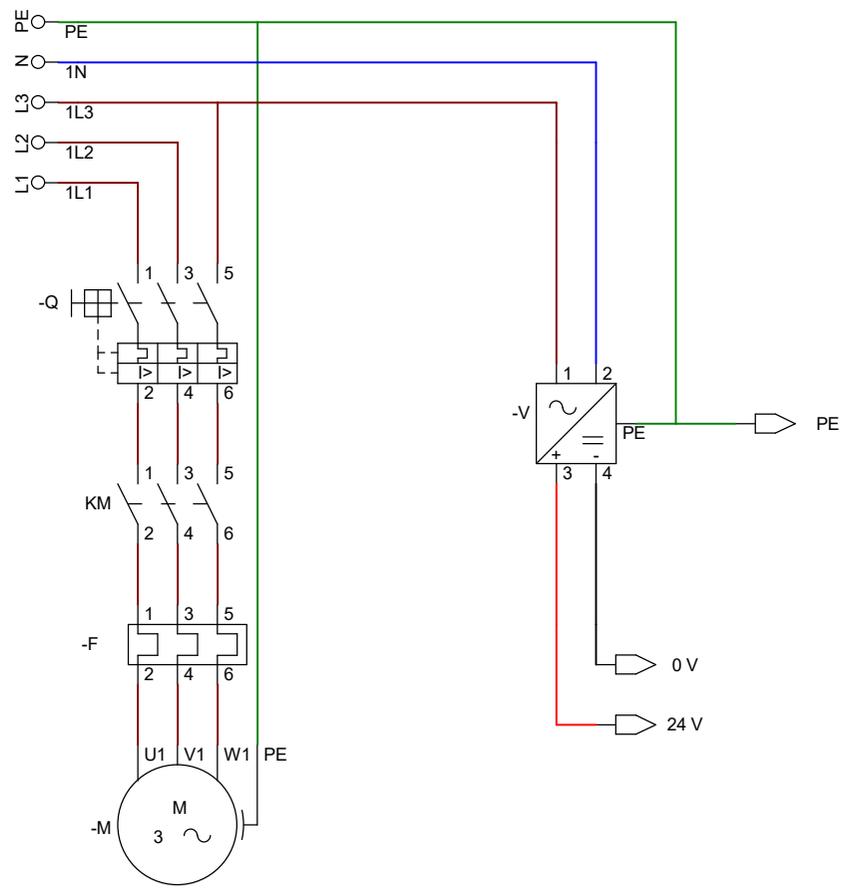
				Tolerancias ± 0.1	(Peso) 10.045 kg	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
					Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722	Denominación: TUBO CUADRADO SIMETRÍA - LONGITUD 1100 MM
					Rev.		
					Apro.		Escala: 1:4
					Firma: <b>espol</b> INGE2722	Número de dibujo: INGE-2722.507	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- bre			(Sustitución)	



				Tolerancias ± 0.1	(Peso) N/D	Materiales: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A 572/A572M	
						Fecha: 2/2/25	Nombre: INGE2722
						Denominación: POSICIONES - ESTRUCTURA BASE MÓVIL	
						Escala: 1:10	
						Número de dibujo: INGE-2722.508	
						(Sustitución)	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- bre	Firma: <b>espol</b> INGE2722			

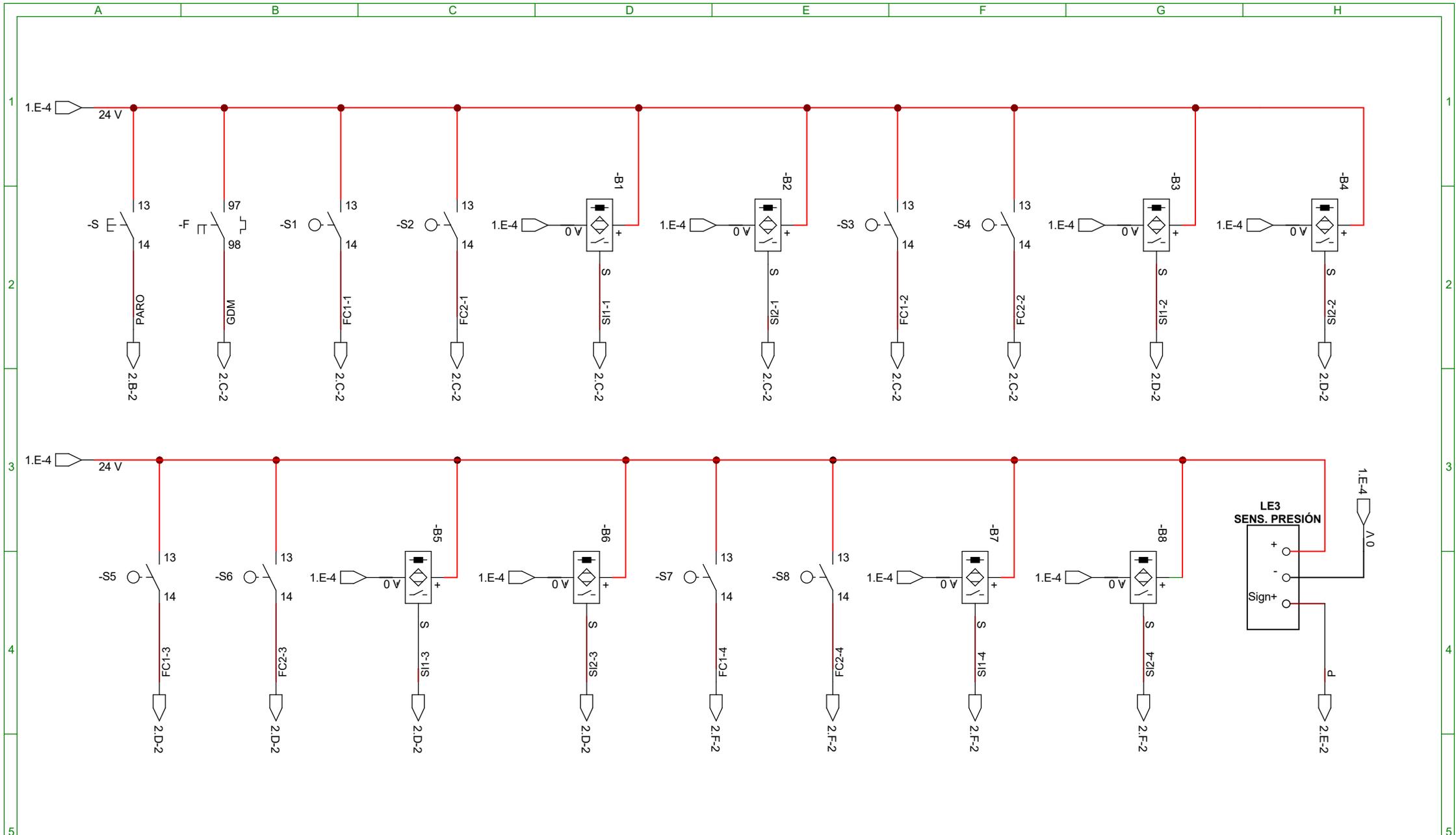
**Apéndice C**

**Planos Eléctricos (PLANOS 56-59)**

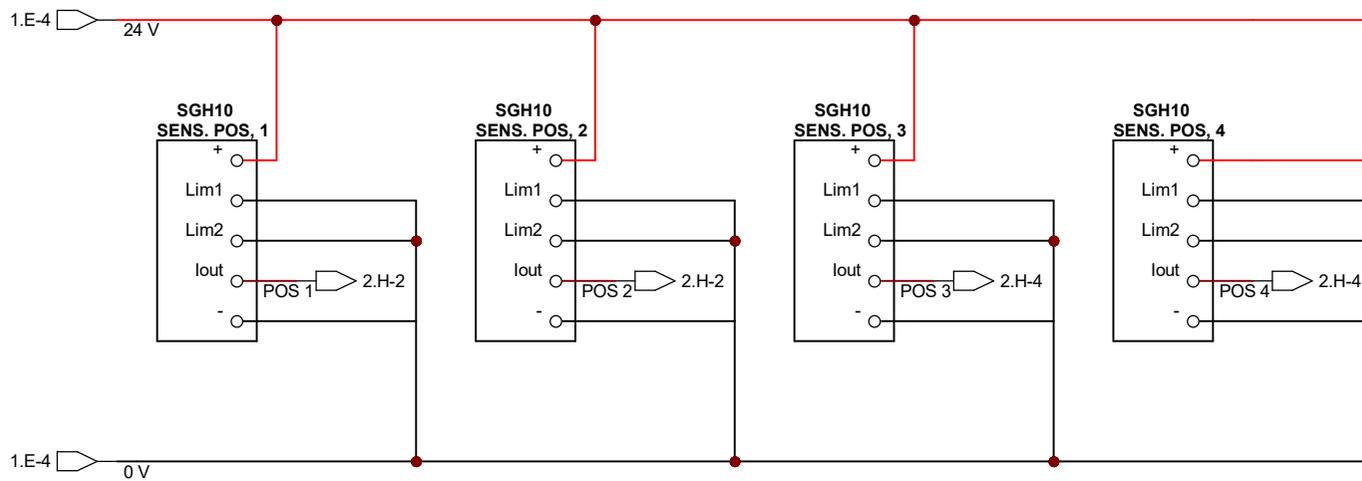


	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha	31-Ene-2025	Núm:	1 de 4
Dibujado	31/01/2025	INGE-2722		ESPOL	CIRCUITO DE POTENCIA	Archivo:	CircuitoPotencia		
Comprobado	31/01/2025	MSc. Zufiga							



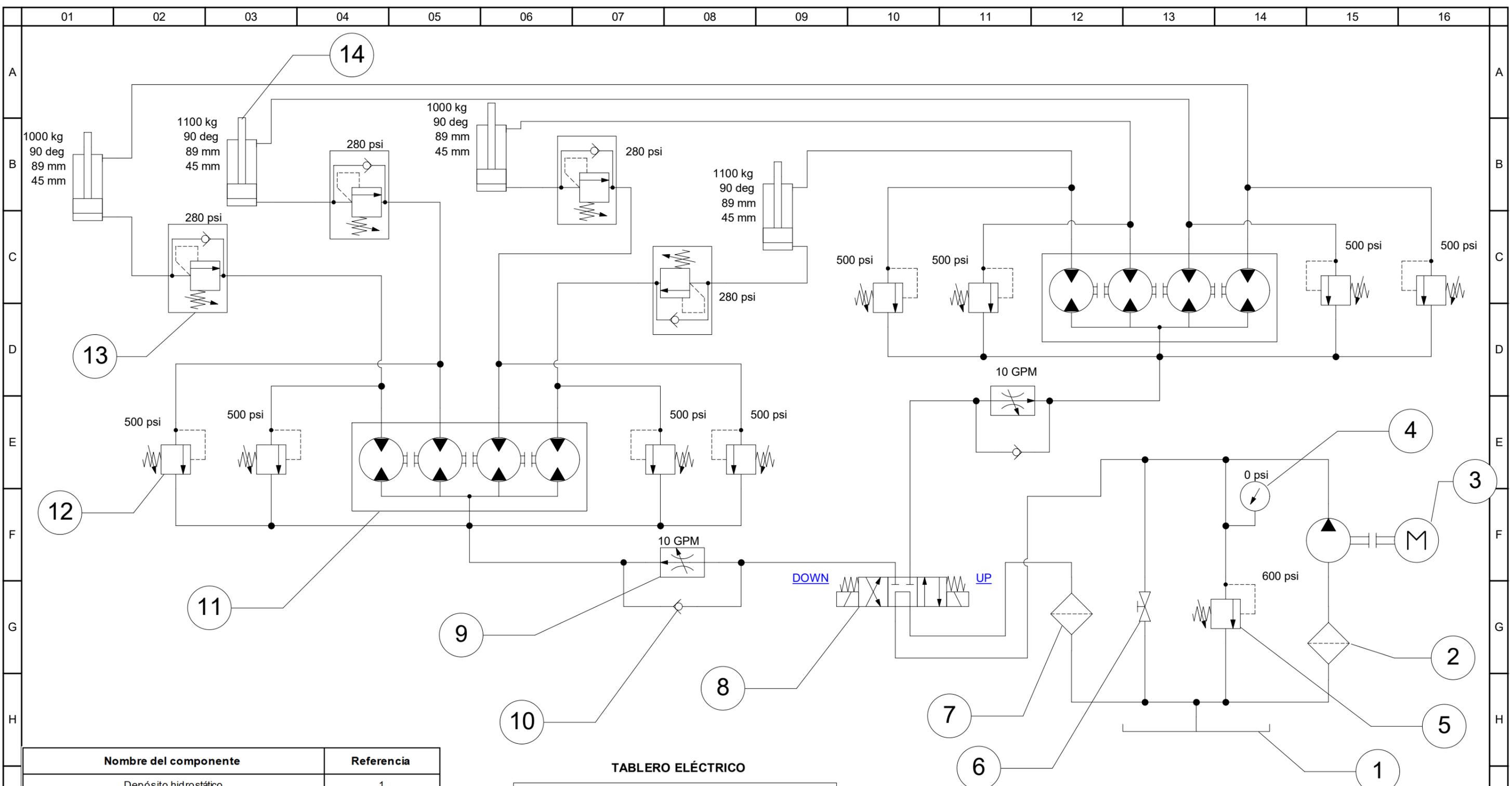


	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha	31-Ene-2025	Núm:	3 de 4
Dibujado	31/01/2025	S. Hidalgo		ESPOL	SEÑALES ENTRADAS PLC	Archivo:	Señales-EntradasPLC		
Comprobado	31/01/2025								

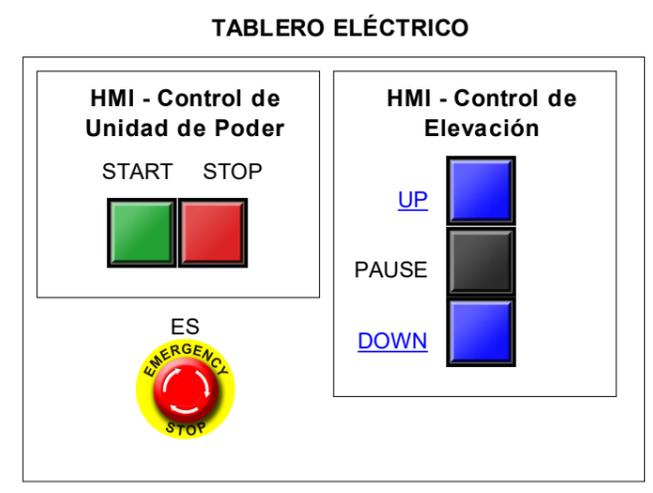


	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha	31-Ene-2025	Núm:	4 de 4
Dibujado	31/01/2025	INGE-2722		ESPOL	SEÑALES SENSORES POS.	Archivo: Señales-SensoresPOS			
Comprobado	31/01/2025	MSc. Zuñiga							

**Apéndice D**  
**Planos Hidráulicos (PLANO 60)**



Nombre del componente	Referencia
Depósito hidrostático	1
Filtro	2
Motoreléctrico	3
Manómetro	4
Válvula de alivio variable	5
Válvula de cierre normalmente cerrado (2 vías)	6
Filtro	7
Válvula direccional	8
Regulador de caudal ajustable	9
Válvula antirretorno	10
Divisor de flujo rotatorio de 4 vías	11
Válvula de alivio variable	12
Válvula de alivio variable con antirretorno	13
Cilindro de doble efecto	14



	FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:
DIB.	21/11/2024	INGE-2722	<b>ELEVADOR PARA CONTENEDORES - CIRCUITO HIDRÁULICO</b>
REV.	6/2/2025	MSc. Carlos Zuñiga	
FIRMA:		ENTIDAD:	FECHA:
		ESPOL	6/2/2025
			NÚM:
			1/1