



UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA IMPRESIÓN DE TARAS Y
LOGOTIPOS EN CILINDROS DE GLP DOMÉSTICO PARA UNA PLANTA
ENVASADORA.**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autor

Andrés Fernando Moreira Valdez

Tutor

Ing. Blanca Liliana Topón Visarrea M.Sc.

QUITO– ECUADOR

2026

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Yo, Andrés Fernando Moreira Valdez, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el nombre **“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA IMPRESIÓN DE TARAS Y LOGOTIPOS EN CILINDROS DE GLP DOMÉSTICO PARA UNA PLANTA ENVASADORA”**, como requisito para optar al grado de Ingeniero y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 19 días del mes de marzo del 2026, firmo conforme:

Autor: Andrés Fernando Moreira Valdez

Firma:

Número de Cédula: 1725843229

Dirección: Pichincha, Quito, La Argelia.

Correo Electrónico: amoreira6@indoamerica.edu.ec

Teléfono: 0993462660

Aprobación del tutor

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular **“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA IMPRESIÓN DE TARAS Y LOGOTIPOS EN CILINDROS DE GLP DOMÉSTICO PARA UNA PLANTA ENVASADORA”** presentado por Andrés Fernando Moreira Valdez, para optar por el Título Ingeniero Industrial,

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Lectores que se designe.

Quito, 19 de marzo del 2026

.....

Ing. Blanca Liliana Topón Visarrea M.Sc

Declaración de autenticidad

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Integración Curricular, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 19 de marzo del 2026

.....

Andrés Fernando Moreira Valdez

CI: 1725843229

Aprobación de lectores

El Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión, sobre el tema: DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA IMPRESIÓN DE TARAS Y LOGOTIPOS EN CILINDROS DE GLP DOMÉSTICO PARA UNA PLANTA ENVASADORA, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Integración Curricular.

Quito, 19 de marzo de 2026

.....

Ing. Christian Eduardo Iza Llumigusin M.Sc.
LECTOR

.....

Ing. Adriana Daniela Guevara Arteaga M.Sc.
LECTOR

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mis padres, quienes, con esfuerzo, sacrificio y amor, cimentaron las bases de mi formación y educación, guiándome hasta convertirme en el profesional que soy.

A mis hermanos por ser mis compañeros de vida, por enseñarme el verdadero valor de la lealtad y ser mi fortaleza y apoyo en los momentos de debilidad.

A Silvana, por quedarte conmigo en los momentos difíciles, darme ánimo para seguir adelante y ser un apoyo en mi vida.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haberme otorgado la oportunidad de continuar con mis estudios universitarios y por brindarme la sabiduría y salud para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mis padres, hermanos y seres queridos, gracias por su apoyo incondicional, amor y permanente acompañamiento. Ustedes han sido la más sólida fuente de motivación e inspiración para la consecución de este logro académico.

Gracias a mis docentes, por su dedicación, esfuerzo y compromiso con mi formación, sobre todo por fomentar el sentido de profesionalismo y la responsabilidad en mí.

En especial, agradezco a mi tutora de titulación Ing. Liliana Topón, por su valioso aporte y acompañamiento, clave para la consecución de este proyecto.

Índice de contenidos

Aprobación del tutor.....	iii
Declaración de autenticidad.....	iv
Aprobación de lectores	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Índice de contenidos	viii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de ecuaciones.....	xv
Índice de anexos	xvi
RESUMEN EJECUTIVO	xvii
ABSTRACT	xviii
Capítulo I.....	1
Introducción.....	1
Antecedentes.....	4
Marco teórico.....	6
Justificación	8
Objetivos.....	9
<i>Objetivo General</i>	9
<i>Objetivos Específicos</i>	9
Capítulo II.....	10
Ingeniería del proyecto	10
Diagnóstico de la Situación Actual de la Empresa.....	10

<i>Análisis ergonómico usando el método REBA</i>	23
<i>Análisis de procesos mediante Cursograma analítico</i>	28
<i>Análisis del proceso mediante diagrama de Ishikawa</i>	31
<i>Análisis del proceso mediante diagrama de Pareto</i>	32
Área de estudio	34
<i>Diseño de modelo operativo</i>	35
Desarrollo del modelo operativo	35
<i>Dimensionamiento del sistema y selección de componentes y tecnología</i> .	36
<i>Diseño mecánico, eléctrico, neumático y programación</i>	37
<i>Ensamblajes simulaciones y pruebas de integración</i>	37
Capítulo III	38
Propuesta y resultados esperados	38
Dimensionamiento del sistema y selección de componentes y tecnología	38
Dimensionamiento del sistema	38
<i>Aplicación de metodología QFD para dimensionamiento del sistema</i>	38
<i>Dimensionamiento de sistemas en función a normativa aplicable</i>	41
<i>Dimensionamiento de áreas operativas de la máquina</i>	42
<i>Parámetros de funcionamiento</i>	45
<i>Dimensionamiento de etapas de ejecución</i>	45
Análisis y definición de componentes mecánicos	49
<i>Componentes mecánicos estructurales y de soporte</i>	49
Análisis y definición de componentes eléctricos	51
<i>Componentes eléctricos de control principal</i>	51

<i>Componentes eléctricos de mando y sensado</i>	63
<i>Componentes eléctricos de Control de actuadores</i>	65
<i>Otros componentes eléctricos</i>	69
Diseño mecánico.....	76
<i>Diseño de sistema mecánico estructural</i>	76
<i>Diseño de sistemas mecánicos complementarios</i>	78
Diseño eléctrico.....	85
<i>Diseño de sistemas de control</i>	86
<i>Diseño de sistemas eléctricos de potencia</i>	91
<i>Diseño de tablero eléctrico</i>	94
Diseño neumático.....	95
Programación de interfaz HMI y PLC.....	97
Ensamblaje de sistemas Mecánicos, Neumáticos y Eléctricos.....	114
Pruebas de simulación con integración de sistemas.....	118
Análisis de resultados esperados.....	122
<i>Simulación de Sistemas de Control e Interfaz HMI en TIA Portal</i>	122
Ajustes en simulación de sistemas integrados.....	124
Análisis técnico económico.....	135
Capítulo IV.....	143
Conclusiones y Recomendaciones.....	143
Conclusiones.....	143
<i>Conclusión General</i>	144
Recomendaciones.....	144

BIBLIOGRAFÍA	145
ANEXOS	148

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Cilindros que se dan de baja cada año y su comparativa anual porcentual.</i>	13
Tabla 2 <i>Cilindros que se reparan anualmente desde el 2021 hasta el 2025.</i>	13
Tabla 3 <i>Costo anual por cilindro reparado desde 2021 hasta 2025.</i>	14
Tabla 4 <i>Base de datos de diagrama de Pareto.</i>	32
Tabla 5 <i>Área de estudio</i>	34
Tabla 6 <i>Listado de distribución de etapas y sistemas circundantes según figura 21.</i>	42
Tabla 7 <i>Equivalencias de coeficiente K o coeficiente de holgura.</i>	44
Tabla 8 <i>Parámetros básicos de funcionamiento.</i>	45
Tabla 9 <i>Características de material AISI 1015 estructura de sistema.</i>	49
Tabla 10 <i>Listado de materiales mecánicos de soporte y funcionamiento del sistema.</i> ..	50
Tabla 11 <i>Características de materiales y criterios de selección.</i>	51
Tabla 12 <i>Análisis de salidas digitales requeridas por el sistema.</i>	52
Tabla 13 <i>Análisis de entradas digitales requeridas por el sistema.</i>	53
Tabla 14 <i>Matriz de selección para PLC.</i>	54
Tabla 15 <i>Principales elementos eléctricos para control y automatización de proceso.</i> .	56
Tabla 16 <i>Matriz de selección de relés de control.</i>	56
Tabla 17 <i>Matriz de selección Schneider Electric TCSESU033FN0.</i>	57
Tabla 18 <i>Consumos eléctricos de componentes de control principal.</i>	58
Tabla 19 <i>Matriz de selección de porta fusible Schneider Acti9 2x38 (A9N15649).</i>	59
Tabla 20 <i>Matriz de selección de Breaker 3P Schneider Acti9 iC60L 12.5 Amp.</i>	61
Tabla 21 <i>Matriz de selección de fuente Traco Power - tex 120-112 /124.</i>	62
Tabla 22 <i>Matriz de selección de borneras Weidmüller serie ZDU, modelos 1.5 y 2.5.</i> .	63
Tabla 23 <i>Matriz de selección de elementos de mando y sensado.</i>	65
Tabla 24 <i>Matriz de selección de motorreductor WEG 1.5 HP 1750 Rpm 220v i7.5.</i>	66
Tabla 25 <i>Matriz de selección de variador WEG CFW300 (6AV2123-2JB03-0A).</i>	67
Tabla 26 <i>Matriz de selección de Servo controlador XINJE MS6H - XINJE DS5.</i>	68
Tabla 27 <i>Matriz de selección de electroválvula 5/2 AIRTAC 4V210-08-B-T 1/4" NPT.</i> .	69

Tabla 28 <i>Matriz de selección de gabinetes I-0320-1 y I-0317 Beaucoup.</i>	69
Tabla 29 <i>Listado de materiales eléctricos auxiliares.</i>	70
Tabla 30 <i>Matriz de selección de actuadores neumáticos.</i>	72
Tabla 31 <i>Listado de actuadores neumáticos.</i>	73
Tabla 32 <i>Matriz de selección de sistemas de sublimado.</i>	74
Tabla 33 <i>Listado de materiales neumáticos para sublimado de pintura.</i>	74
Tabla 34 <i>Matriz de selección de componentes neumáticos complementarios.</i>	75
Tabla 35 <i>Abreviaturas y funciones de componentes conectados a PLC.</i>	88
Tabla 36 <i>Entradas y salidas de componentes conectados al módulo de expansión.</i>	90
Tabla 37 <i>Abreviaturas y funciones de sistema eléctrico de potencia y alimentación.</i>	93
Tabla 38 <i>Parámetros de programación para variador WEG CFW-300.</i>	106
Tabla 39 <i>Tiempos de ejecución del proceso por etapas.</i>	126
Tabla 40 <i>Comparativa de datos proyectados vs sistema propuesto.</i>	131
Tabla 41 <i>Rubros por concepto de mano de obra.</i>	139
Tabla 42 <i>Rubros por concepto de consumibles y energía.</i>	139
Tabla 43 <i>Costo global de proyecto.</i>	140
Tabla 44 <i>Detalle de valores resultantes del análisis ejecutado.</i>	142

Índice de figuras

Figura 1 Carrusel automático de envasado de cilindros de GLP doméstico de 15 kg.	2
Figura 2 Sistema HMI para monitoreo y control de niveles en tanques estacionarios. ...	4
Figura 3 Reducción de plano de implantación planta Ecuagas Anexo 1.	11
Figura 4 Comparativa de productividad desde el 2021 al 2025.	16
Figura 5 Diagrama de proceso de reparación de cilindros.	18
Figura 6 Diagrama de proceso de makeup o retocado de cilindro.	19
Figura 7 Baja calidad en la impresión de logotipos y taras.	21
Figura 8 Acumulación de cilindros a espera de proceso de impresión de tara y logo. ...	21
Figura 9 Impresión manual de logotipo de la compañía con uso de plantilla.	22
Figura 10 Impresión manual de tara de cilindro con uso de plantillas.	22
Figura 11 Informe de análisis REBA de proceso de impresión de logo.	24
Figura 12 Informe de análisis REBA de proceso de impresión de tara.	26
Figura 13 Cursograma analítico proceso de reparación de cilindros.	29
Figura 14 Cursograma analítico proceso de Makeup o Retocado de cilindro.	30
Figura 15 Diagrama causa efecto de proceso de impresión de taras y logotipos.	31
Figura 16 Gráfica de diagrama de Pareto.	32
Figura 17 Diagrama de Red – Modelo operativo.	35
Figura 18 Esquema QFD de sistema de impresión automático de tara y logotipos.	40
Figura 19 Layout de espacios físicos según método de Guerchet.	44
Figura 20 Esquema de etapas funcionales de sistema.	46
Figura 21 Diagrama de flujo operativo del sistema.	48
Figura 22 Ensamble de estructura principal de sistema propuesto.	77
Figura 23 Resultados de estudio de análisis estático.	77
Figura 24 Sistema mecánico de centrado y retención de cilindro.	79
Figura 25 Ensamblaje mecánico de posicionamiento y rotacional de cilindros.	80
Figura 26 Ensamblaje mecánico de rotación de cilindros.	81
Figura 27 Ensamblaje mecánico de mecanismo de marcación de taras.	82
Figura 28 Ensamblaje mecánico de mecanismo de marcación de logotipos.	83
Figura 29 Ensamblaje mecánico de mecanismo de contención de pintura líquida.	84
Figura 30 Ensamblaje mecánico de mecanismo de elevación.	85
Figura 31 Diseño eléctrico de conexiones Periféricos - PLC.	88
Figura 32 Diseño eléctrico de conexiones Periféricos – Módulo de Expansión.	91

Figura 33 <i>Diseño eléctrico de conexiones circuito de alimentación y potencia.</i>	92
Figura 34 <i>Diseño de tablero de distribución eléctrica.</i>	95
Figura 35 <i>Diagrama de tiempos y secuencia neumática.</i>	96
Figura 36 <i>Dispositivos agregados y asignación de variables.</i>	98
Figura 37 <i>Diagrama de ejecución de programación.</i>	99
Figura 38 <i>Segmento 1- Separación de cilindros</i>	100
Figura 39 <i>Segmento 2- Ingreso de datos de digitación.</i>	102
Figura 40 <i>Segmento 3- Comparador y registro envío de dato a memoria DB.</i>	103
Figura 41 <i>DB- Array para almacenar datos de tara.</i>	104
Figura 42 <i>Segmento 4- Posicionamiento centrado y rotación de cilindro.</i>	105
Figura 43 <i>Segmento 6- Impresión de Tara.</i>	108
Figura 44 <i>Segmento 6- Impresión de Logo.</i>	108
Figura 45 <i>Objeto tecnológico Motion Control.</i>	109
Figura 46 <i>Imagen Raíz HMI - Ingreso y configuración de parámetros.</i>	112
Figura 47 <i>Imagen Raíz HMI – Arranque y visualización de producción</i>	113
Figura 48 <i>Posicionamiento de subensamblaje estructural.</i>	114
Figura 49 <i>Relaciones de posición en ensamblaje de componentes y subensamblajes.</i> ..	116
Figura 50 <i>Mapa de relaciones de posición.</i>	117
Figura 51 <i>Vista explotada de componentes.</i>	118
Figura 52 <i>Simulación - estudio de movimiento de sistema.</i>	120
Figura 53 <i>Estudio con ejecución de cada fase del proceso (16 segundos).</i>	121
Figura 54 <i>Simulación de programación con PLCSIM.</i>	122
Figura 55 <i>Simulador HMI y PLC SIM combinados.</i>	123
Figura 56 <i>Diseño de sistema con inclusión de ajustes.</i>	125
Figura 57 <i>Simulación final con elementos complementarios.</i>	126
Figura 58 <i>Cursograma analítico propuesto - proceso de reparación de cilindros.</i>	128
Figura 59 <i>Cursograma analítico propuesto proceso de retocado de cilindro.</i>	129
Figura 60 <i>Comparativa de productividad (unidad producidas/recursos invertidos)</i>	131
Figura 61 <i>Análisis REBA con el sistema propuesto.</i>	133
Figura 62 <i>Proforma de materiales para proyecto.</i>	137
Figura 63 <i>Diagrama de Gantt - Impresora automática de taras y logotipos.</i>	138

Índice de ecuaciones

(1)	39
(2)	42
(3)	42
(4)	43
(5)	43
(6)	43
(7)	57
(8)	58
(9)	59
(10)	59
(11)	60
(12)	71
(13)	78
(14)	78
(15)	141
(16)	141
(17)	142

Índice de anexos

Anexo 1 Plano de implantación de áreas Ecuagas Pifo.	148
Anexo 2 Layout de nave de envasado.	149
Anexo 3 Ficha técnica PLC S7-1200 siemens.	150
Anexo 4 Ficha técnica módulo de expansión sm1223 siemens.	151
Anexo 5 Ficha técnica de pantalla HMI Siemens KTP900 Basic.....	152
Anexo 6 Ficha técnica de fuente Traco Power serie TEX, 120-112 / 120-124.	153
Anexo 7 Manual de convertidor WEG CFW300 (6AV2123-2JB03-0A).	154
Anexo 8 Manual de Servomotor y controlador XINJE MS6H - XINJE DS5.	155
Anexo 9 Ficha técnica y catálogo de actuadores neumáticos Airtac.	156
Anexo 10 Ficha técnica SAGOLA pistola Mini V, kit MA-14 y recipiente 610.	157
Anexo 11 Plano estructural de sistema mecánico.	158
Anexo 12 Estudio y simulación de cargas estáticas de estructura principal.....	159
Anexo 13 Ensamblaje de mecanismo de posicionamiento y centrado.....	160
Anexo 14 Ensamblaje de mecanismo de rotación de cilindro.	161
Anexo 15 Ensamblaje de mecanismo de impresión de taras.	162
Anexo 16 Ensamblaje de mecanismo de impresión de logotipo.	163
Anexo 17 Ensamblaje de mecanismo de contención de pintura líquida.....	164
Anexo 18 Ensamblaje de mecanismo elevación y pesaje de cilindros.....	165
Anexo 19 Plano de conexiones eléctricas de PLC S7-1200.	166
Anexo 20 Plano de conexiones eléctricas de Módulo de expansión SM 1223.	167
Anexo 21 Plano de conexiones eléctricas de sistemas de alimentación y potencia. ...	168
Anexo 22 Plano de distribución de componentes eléctricos en gabinete.	169
Anexo 23 Plano pedestal de digitación.....	170
Anexo 24 Plano esquemático de conexiones neumáticas.	171
Anexo 25 Ensamblaje de gabinete modular neumático.....	172
Anexo 26 Ensamblaje de componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos.....	173
Anexo 27 Listado de materiales - Ensamblaje completo de sistema.	174
Anexo 28 Vista explosionada de ensamblaje global del equipo.	175
Anexo 29 Plano general final del sistema.	176
Anexo 30 Abstract revisado y aprobado	177

UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA IMPRESIÓN DE TARAS Y LOGOTIPOS EN CILINDROS DE GLP DOMÉSTICO PARA UNA PLANTA ENVASADORA.

AUTOR(A): Andrés Fernando Moreira Valdez

TUTOR (A): Ing. Blanca Liliana Topón Visarrea M.Sc.

RESUMEN EJECUTIVO

En una planta envasadora de cilindros de GLP doméstico se identificó que la impresión de logotipos y taras presentan deficiencias debido a su ejecución manual, riesgos ergonómicos y baja calidad, lo que genera una productividad reducida y costos adicionales para la compañía objeto del presente estudio. Por tanto, el objetivo de este trabajo es diseñar un sistema automatizado para la impresión de taras y logotipos y validar, mediante simulaciones, su funcionamiento y las mejoras en la productividad.

La investigación empleó un enfoque de ingeniería aplicada, utilizando diferentes metodologías como Ishikawa, Pareto y QFD, además del levantamiento de cursogramas analíticos y la evaluación de la productividad, permitiendo diagnosticar y obtener los mejores criterios técnicos para viabilizar el desarrollo del proyecto el cual se llevará a cabo mediante la integración de sistemas mecánicos, eléctricos, neumáticos y de control, validados mediante simulaciones en TIA Portal y SolidWorks.

La propuesta permitió la estructuración ordenada de las tareas que se ejecutan acorde a la programación realizada en TIA Portal, y su funcionamiento permite simular en SolidWorks determinándose mediante este método una reducción en los tiempos de ejecución ya que el sistema ejecutará dos operaciones a la vez, lo que incide en una mejora significativa en la productividad que pasó de 0,81 a 1,21 cilindros producidos por cada dólar invertido.

El diseño automatizado permite simular su comportamiento con lo cual se puede validar que cumple con mejoras sustanciales en productividad mientras se garantiza la calidad y seguridad del proceso. Este diseño sienta las bases para futuras investigaciones sobre la implementación de sistemas de visión artificial para el control de calidad automático y la trazabilidad de datos en tiempo real dentro de la industria de hidrocarburos.

DESCRIPTORES: Automatización, Productividad, Trazabilidad, Simulaciones.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

INDUSTRIAL ENGINEERING CAREER

THEME: DESIGN OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR PRINTING TARES AND LOGOS ON DOMESTIC LPG CYLINDERS FOR A BOTTLING PLANT.

AUTHOR: Andrés Fernando Moreira Valdez

TUTOR (A): Ing. Blanca Liliana Topón Visarrea M.Sc

ABSTRACT

In a domestic LPG cylinder bottling plant, it was identified that the printing of logos and tares presents deficiencies due to manual execution, ergonomic risks, and low quality, leading to reduced productivity and additional costs for the company under study. Therefore, the objective of this work is to design an automated system for printing tares and logos and to validate its operation and productivity improvements through simulations.

The research employed an applied engineering approach, using various methodologies such as Ishikawa, Pareto, QFD, analytical process charts, and productivity assessments, which allowed for the diagnosis and acquisition of the best technical criteria to make the project's development feasible. This was carried out through the integration of mechanical, electrical, pneumatic, and control systems, validated through simulations in TIA Portal and SolidWorks.

The automated design enabled an orderly structuring of tasks executed according to the programming performed in TIA Portal. Its operation was simulated in SolidWorks, determining through this method a reduction in execution times since the system performs two operations simultaneously. This resulted in a significant improvement in productivity, which rose from 0.81 to 1.21 cylinders produced for every dollar invested. The automated design allows for behavioral simulation, validating that it achieves substantial productivity improvements while ensuring process quality and safety. This design lays the groundwork for future research on the implementation of artificial vision systems for automated quality control and real-time data traceability within the hydrocarbon industry.

KEYWORDS: Automation, Productivity, Traceability, Simulations.

Capítulo I

Introducción

La automatización es la integración de las tecnologías de la información (TI), automatización de procesos robóticos (RPA) e inteligencia artificial (IA). En la actualidad la integración de la automatización, impacta a nivel mundial sobre la productividad y la competitividad en las industrias ya que permite la estandarización y control de procesos, monitoreo continuo, procesamiento y analítica avanzada; generando una aceleración sin precedente en el proceso de globalización al optimizar el comercio, mejorar eficiencia y facilitar la desagregación de la producción, dado que facilita la reducción de costos, producción a gran escala y la competencia a nivel mundial, ampliando el acceso a bienes y servicios. Hoy en día la automatización se ha consolidado como la base fundamental para el desarrollo de las nuevas tecnologías ya que sus campos de aplicación son innumerables y van desde la industria biomédica, farmacéutica, alimenticia, automotriz, aeroespacial, etc. (Avendaño Barrera, 2024).

La “automatización industrial” hace referencia al uso de sistemas y mecanismos tecnológicos que tienen como propósito principal; monitorear y controlar los procesos. De acuerdo con datos de la Federación Internacional de Robótica (IFR), el mundo cuenta con más de 4.28 millones de robots operativos, además, cada año se instala medio millón de nuevos sistemas automatizados en las industrias, lo que impacta positivamente en la economía mundial al aumentar la productividad y eficiencia de los procesos, generando beneficios económicos provenientes de la reducción de costos operativos y de la competitividad ya que estos sistemas ofrecen una mejor adaptabilidad y flexibilidad (Xu, 2024).

Las Industrias de envasado de Gas Licuado de Petróleo o GLP a nivel mundial, no son la excepción ya que demandan altos niveles de automatización debido a los riesgos

inherentes a la manipulación de productos altamente explosivos, por tanto, han implementado sistemas que permitan garantizar en todo momento que los parámetros operativos sean los ideales, la implementación de estos sistemas reducen considerablemente los márgenes de error y mejoran los tiempos de respuesta en caso de eventos. (Rashad O, 2022)

En Ecuador la Industria del GLP se considera estratégica, debido a su influencia económica, social y política, por lo que el estado debe garantizar en todo momento, el abastecimiento la población, acorde a la Constitución de la República del Ecuador (2008 art.314), en este contexto las industrias encargadas del abastecimiento del GLP, se ven obligadas a mantener procesos altamente eficientes y que garanticen la calidad, seguridad y distribución uniforme y estandarizada del producto, asegurando que cada cliente reciba la cantidad exacta establecida conforme a los parámetros de control y trazabilidad definidos. Bajo este concepto, las industrias envasadoras de GLP han implementado procesos automatizados que permiten un control altamente preciso del envasado tanques de GLP doméstico de 15 Kg, un ejemplo son los carruseles de envasado Figura 1, mismos que cuentan con sistemas de compensación de pesos ya que utilizan celdas de carga mientras monitorean el llenado, así como los caudales de líquido en tiempo real.

Figura 1

Carrusel automático de envasado de cilindros de GLP doméstico de 15 kg.



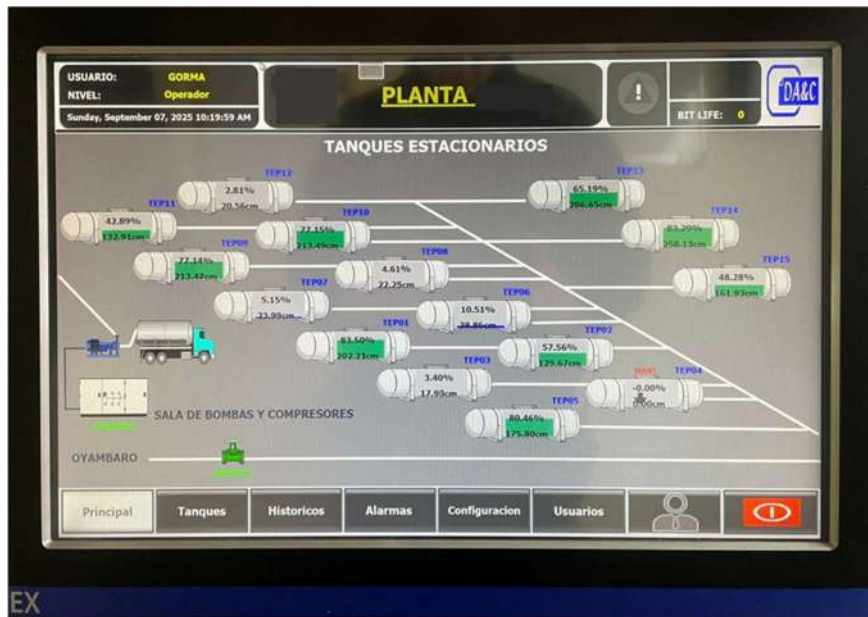
Nota: Fotografía tomada por el autor.

La compañía, objeto de estudio, cuenta con varios sistemas automáticos en sus procesos tales como sistemas de adquisición de datos (SCADA) e Interfaces hombre máquina (HMI), los cuales se aprecian en la Figura 2, estos sistemas son usados principalmente para el monitoreo de sus dispositivos de almacenamiento de GLP (Tanques estacionarios), así como para la medición y control del envasado de tanques domésticos de 15 Kg, también dispone de sistemas de seguridad que permiten la monitorización y detención de humo, flama y fugas de GLP, así como estaciones manuales que en conjunto buscan garantizar la detección temprana de un evento que puede derivar en incendios o explosiones de extrema gravedad.

El conjunto de sistemas mencionados garantiza de manera efectiva la ejecución de los procesos primarios, sin embargo, los procesos secundarios como el mantenimiento de los cilindros domésticos lucen obsoletos en comparación; pese a ser de gran importancia para las operaciones de la compañía; esto debido a la existencia de operaciones manuales como el proceso de marcado de taras y logotipos , mismo que se desarrolla de manera manual, lo que incide en una baja capacidad productiva al ser un cuello de botella en el flujo productivo, además de las limitaciones frente a un creciente y demandante mercado; lo que genera la necesidad de desarrollar mecanismos automatizados para garantizar que el proceso cumpla con los requerimientos actuales de producción, seguridad y calidad.

Figura 2

Sistema HMI para monitoreo y control de niveles en tanques estacionarios.



Nota: Fotografía tomada por el autor.

Antecedentes

La planta de envasado de GLP ubicada en Pifo, parroquia rural de Quito, forma parte de uno de los principales sectores estratégicos del país y tiene como principal misión garantizar el abastecimiento oportuno y seguro de cilindros de GLP domésticos dentro del territorio nacional de manera eficiente y sostenible, la planta tiene una capacidad de 700 toneladas de GLP, equivalente a 45.000 cilindros domésticos de 15 Kg envasados al día y cuenta con un stock de 3.000.000 cilindros domésticos a lo largo de la región interandina y amazónica, convirtiéndola en la planta con la mayor capacidad de envasado del país.

El proceso de envasado inicia con el transporte primario, en el que se traslada el GLP en estado líquido con autotanques, desde las terminales de Petroecuador en Esmeraldas y Guayas, hasta la planta de envasado Pifo, sitio en el que se descarga y almacena en tanques estacionarios hasta su posterior bombeo a carruseles de envasado, en donde se ingresan los cilindros de 15 kg para su envasado y traslado a centros de distribución final. Paralelamente al proceso de envasado, los cilindros que presentan asas

y bases deformadas, deformación excesiva en el cuerpo , exceso de oxidación o válvulas en mal estado, son separados y trasladados al taller de reparación de cilindros TRC, en donde se realizan evaluaciones técnicas en base a la normativa, (INEN, 2025) en la que se establecen los requisitos técnicos para inspección de cilindros de acero soldados que contienen gas licuado de petróleo; Por otro lado, si los componentes del cilindro no se encuentran en mal estado, pero si presenta señales de oxidación y contaminación, este se envía al proceso de lavado y pintando o también llamado “ retocado o makeup ”, en donde solo se realiza un mantenimiento visual y de recubrimiento.

Ambos procesos tienen como propósito asegurar la integridad y calidad del cilindro y garantizar que llegue a los hogares de manera segura, estos procesos comparten una actividad en común, denominada “impresión de taras y logotipos”, ejecutadas manualmente en la fase final del mantenimiento y makeup del cilindro, que tienen como función principal la colocación de datos informativos; el peso en el caso del marcado de taras y la marca empresarial en el caso de la impresión de logotipos.

En la actualidad el proceso de impresión de taras se desarrolla de manera manual y consiste en el uso de plantillas metálicas prediseñadas y dispuestas en orden para que el operario las seleccione en función al peso del cilindro, mismo que se pesa de manera manual, a continuación, el operario marca el número de tara con una pistola pulverizadora de pintura y finalmente se libera el cilindro para la impresión de logotipo, el cual también se desarrolla de manera manual sin embargo solo se usa una plantilla ya que el logo es único para todos los cilindros.

La impresión de taras y logotipos juega un papel fundamental en el proceso, puesto que permite cumplir con la normativa, (INEN, 2025), exigencias de las agencias de control como la ARCH, así como mantener la trazabilidad e información del cilindro; sin embargo, estos procesos presentan varios inconvenientes provenientes de su

naturaleza manual puesto que el mismo genera cuellos de botella a causa del tiempo de ejecución que en promedio es de 44 segundos para la impresión de logo y 56.3 segundos para la impresión de tara por cilindro, posturas ergonómicas forzadas y repetitivas para los trabajadores del proceso, baja productividad y alta variabilidad en el proceso debido a fallas en la impresión de la tara “peso del cilindro no consistente con el número de tara impreso”, implicando reprocesos o multas por parte de los organismos de control principalmente la ARCH.

La compañía requiere una producción diaria de 1.750 cilindros reparados, estas cantidades se consideran optimas ya que permiten mantener el punto de equilibrio entre los cilindros dañados o desgastados, y cilindros que son reparados, sin embargo el proceso de impresión de taras y logotipos es obsoleto debido a la forma en la que se ejecuta lo que a su vez genera la necesidad de una mayor demanda de mano de obra y recursos, como equipos de protección personal y materiales, además de los riesgos inherentes a los movimientos repetitivos y exposición a condiciones no adecuadas. Por otro lado, la presión continua por el organismo de control estatales como la ARCH, ente encargado de asegurar el control y seguimiento a todas las actividades relacionadas a la extracción, comercialización y distribución de hidrocarburos.

Marco teórico

Gas Licuado de Petróleo

El GLP es una mezcla de hidrocarburos, principalmente propano (C_3H_8) y butano (C_4H_{10}), licuados bajo presión, presentan alta densidad energética y facilidad para transporte y almacenamiento en cilindros, es un gas incoloro e inodoro, usualmente se le añade mercaptanos para facilitar la detección de fugas (IEA, 2021). En Ecuador, el GLP es un combustible estratégico para uso doméstico e industrial, regulado por la ARCH (Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero).

Marcación de Taras y Logotipos.

La marcación de taras y logotipos en cilindros de GLP doméstico es un proceso llevado a cabo con el objetivo de dar trazabilidad sobre; fecha, lote, tara e identidad corporativa; su precisión y permanencia forman parte de los requisitos de calidad y conformidad de recipientes presurizados de acuerdo con normativa (INEN, 2025).

En las industrias existen varios métodos enfocados en la marcación de productos terminados como; tampografía, serigrafía, marcación laser, Inkjet o chorro de tinta, marcación mecánica (Maria Löffler, 2018).

Normas Técnicas y Entes de Regulación y Control Sectorial

- NTE INEN 111: normativa para cilindros de acero soldados para GLP inspección, marcado y requisitos técnicos aplicables al diseño, pruebas hidrostáticas y marcado permanente de cilindros; sección 8 (Marcado y rotulado).
- NTE INEN 1534: Prevención de incendios y requisitos para almacenaje y manejo de cilindros de gas que condicionan layout y seguridad de las partes del proceso; sección 6.4 (medida de seguridad).
- Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH): Entidad de control encargada de hacer cumplir normativas y resoluciones que regulan las autorizaciones para transporte, almacenamiento y comercialización de GLP; también definen obligaciones de trazabilidad control de calidad y marcación para garantizar el correcto comercio y puesta en servicio.

Atmósferas explosivas

Mezcla de aire con hidrocarburos sean estas, vapores o nieblas que, al mezclarse dentro de los límites de inflamabilidad, pueden combustionar si se produce una fuente de ignición.

Zonificación de Áreas Clasificadas

Zona 0: presencia continua de gas, suele presentar poca frecuencia en plantas envasadoras en operación normal.

Zona 1: presencia probable en condiciones normales como áreas cercanas a operaciones de llenado o manipulación de válvulas.

Zona 2: presencia posible de gas sólo en situaciones anormales o por cortos periodos.

Justificación

Este trabajo resulta de gran importancia para la compañía, ya que, al automatizar el proceso de impresión de taras y logotipos, se garantiza el cumplimiento de la productividad deseada a la vez que se mejoran las condiciones de trabajo y de seguridad en la planta, además de garantizar el abastecimiento y la calidad del producto a la población.

El presente planteamiento pretende generar un impacto positivo para la empresa envasadora y trabajadores, al optimizar los recursos necesarios en ejecución de la actividad de marcado de taras y logotipos, reducir las posturas forzadas y movimientos repetitivos; pero también para otras empresas del sector que puedan requerir sistemas de esta índole.

La propuesta de un sistema automatizado para la impresión de taras y logotipos es de gran **utilidad** para la compañía ya que le permitirá saber el potencial que la automatización del proceso tendrá en términos de productividad, a la vez que le permitirá contar con un diseño y un estudio previo que facilitará su implementación.

Los principales **beneficiarios** de este trabajo serán; la empresa envasadora y los trabajadores, dado que se mejorará la producción diaria, así como las condiciones de operación, sin embargo, también se debe considerar el cliente final, ya que este último

recibirá un cilindro de GLP que contará con las condiciones de seguridad y calidad óptimas.

El desarrollo de este proyecto se considera **factible** ya que responde a una necesidad importante para la empresa objeto de este estudio, así como para los trabajadores y demás empresas del sector, también por que se facilitarán los recursos e información necesaria para llevar a buen término el proyecto.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema automatizado para la impresión de taras y logotipos en cilindros de GLP doméstico utilizando herramientas de diseño y simulación mejorando la productividad del proceso.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar el proceso actual de impresión de taras y logotipos, aplicando diagramas de flujo, cursograma analítico y diagrama causa efecto estableciendo la línea base de productividad.
- Seleccionar la tecnología y componentes para la automatización haciendo uso de la QFD y análisis comparativo técnico-económico, para garantizar la factibilidad del diseño.
- Simular el sistema automatizado propuesto, considerando los componentes del sistema, software de diseño mecánico y de simulación de procesos automáticos, garantizando el desempeño y mejoras en productividad.

Capítulo II

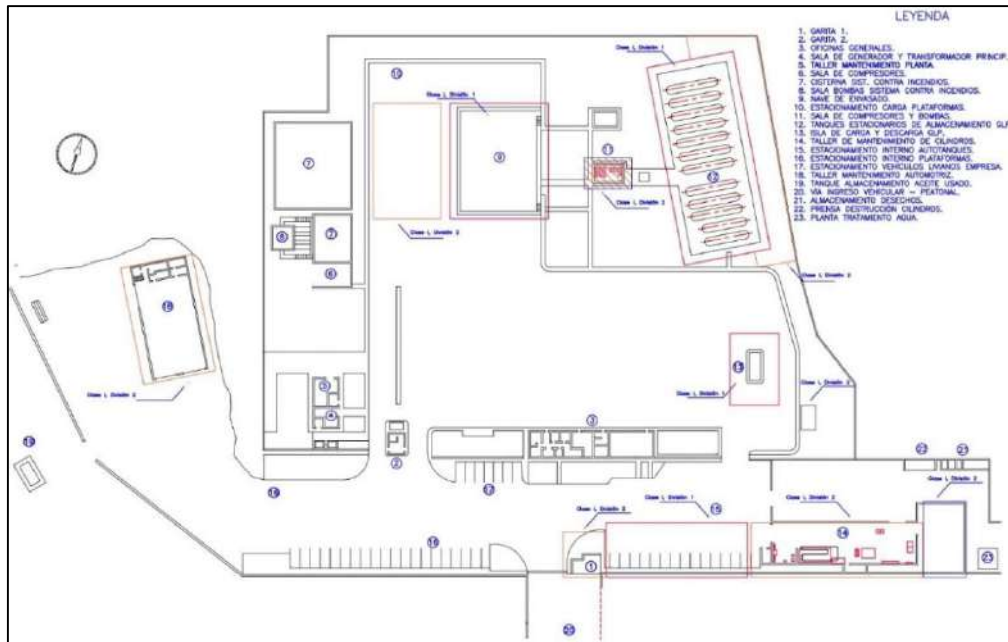
Ingeniería del proyecto

Diagnóstico de la Situación Actual de la Empresa

Para comprender la situación actual de la compañía y como se lleva a cabo el proceso de mantenimiento del cilindro de GLP de 15 Kg, el primer paso a seguir es conocer de manera general la distribución de las áreas de trabajo e instalaciones, ya que esto permite identificar los espacios disponibles, las condiciones operativas y los flujos físicos del proceso de mantenimiento de cilindros. Esta información es clave para detectar posibles restricciones, riesgos ergonómicos y oportunidades de mejora, posteriormente será más fácil la generación de los respectivos diagramas de flujo, cuya finalidad es la de representar gráficamente cada uno de los pasos del proceso de principio a fin, facilitando la comprensión de las actividades, ejecutores y el orden en el que estas actividades se realizan, además los diagramas permiten visualizar los puntos críticos, los tiempos de operación, los recursos involucrados y las interacciones entre áreas, lo que constituye una base sólida para aplicar herramientas de análisis como el cursograma analítico, el diagrama de Pareto y el diagrama de causa efecto, esta representación gráfica es esencial para el diagnóstico técnico y para el diseño de soluciones automatizadas que optimicen el proceso.

Figura 3

Reducción de plano de implantación planta Ecuagas Anexo 1.



Nota: Elaboración propia.

Las áreas principales donde se llevan a cabo los procesos productivos son la nave de envasado de GLP (NDE), identificado con el ítem 9 y el taller de reparación de cilindros (TRC), identificado como ítem 14 conforme al Anexo 1, en la nave de envasado se realiza el proceso de makeup o retocado y en taller de reparación de cilindros se realiza el mantenimiento del cilindro respectivamente. El objetivo específico de ambos procesos es la ejecución de actividades dedicadas a mantener el stock de cilindros en óptimas condiciones además de ejecutar las reparaciones correspondientes a los cilindros que presenten desgaste por operación o al mal uso, estas actividades se llevan a cabo previo a inspecciones visuales y técnicas basadas en (INEN, 2025) además de controles internos dispuestos para ejecutar las actividades de inspección de manera segura y estandarizada.

Los procesos de reparación y retocado de cilindros son indispensables para la compañía ya que, si bien su giro de negocio es el envasado de GLP, es imprescindible contar con los recipientes o envases en los que se deposite y traslade el fluido, a la vez que se garantiza la seguridad en todo momento ya que según la (National Fire Protection

Association, 2024) el GLP es una mezcla de hidrocarburos destilados del petróleo crudo cuyo código de identificación es el 1075 , clasificado como un gas altamente inflamable y con alto riesgo de explosión por expansión del líquido en ebullición en caso de calentamiento del recipiente que lo contiene, características que obligan a la compañía a garantizar la integridad y seguridad del cilindro puesto que a más de los riesgos asociados al fluido que contienen, el cilindro debe soportar presiones que varían entre 280 a 350 Psi en condiciones de trabajo normales, además de factores de uso sumamente demandantes y desgastantes.

De acuerdo con información histórica obtenida de la compañía objetivo de este estudio, el cilindro de GLP tiene una vida útil promedio de 20 años, sin embargo, depende de un sinnúmero de factores asociados, si bien no existe una normativa que haga mención a un límite de edad en el cilindro, si existen criterios de inspección en normativas (INEN, 2025) y (National Fire Protection Association, 2024) que permiten determinar si el cilindro presenta condiciones ideales para continuar operando o en contraparte, si este reúne las condiciones para darse de baja y proceder con la destrucción, en este contexto según apreciación de Tabla 1 entre el año 2021 y 2024 el promedio de cilindros destinados a la baja o destrucción es de 304.654 con un crecimiento promedio anual de 1 % ; simultáneamente en la Tabla 2 se puede apreciar el número de cilindros reparados desde el 2021 hasta junio del 2025 teniendo un promedio de reparación anual de 372.000 cilindros.

Tabla 1*Cilindros que se dan de baja cada año y su comparativa anual porcentual.*

Baja anual de cilindros de 15 Kg				
PLANTA PIFO	2021	2022	2023	2024
Enero	26.183	32.740	38.207	20.087
Febrero	23.699	21.871	27.850	35.278
Marzo	31.771	26.291	18.280	26.544
Abril	20.135	23.834	31.140	28.331
Mayo	21.057	27.482	17.961	22.573
Junio	18.930	14.785	34.251	32.140
Julio	32.536	13.831	22.305	17.547
Agosto	24.822	33.392	35.633	25.322
Septiembre	17.579	23.435	31.740	29.264
Octubre	25.512	32.607	22.419	26.131
Noviembre	17.462	22.205	20.070	34.230
Diciembre	24.659	18.968	17.775	27.751
Total, anual	284.345	291.441	317.631	325.198
Crecimiento anual %	1,025%	1,090%	1,024%	1,046%

Nota: Se puede validar que en el periodo del 2021 al 2024 existe un crecimiento anual de 1% en cilindros dados de baja.

Tabla 2*Cilindros que se reparan anualmente desde el 2021 hasta el 2025.*

CILINDROS REPARADOS ANUALMENTE					
PLANTA PIFO	2021	2022	2023	2024	2025
Enero	23.166	31.043	30.529	28.658	34.125
Febrero	24.932	26.516	26.048	30.572	27.965
Marzo	32.044	30.025	33.297	33.566	35.369
Abril	33.225	25.111	30.705	28.046	40.453
Mayo	24.148	25.089	33.001	27.287	44.101
Junio	36.128	20.890	31.864	26.635	43.917
Julio	40.238	30.038	32.643	32.031	46.467
Agosto	41.256	29.483	32.185	33.100	36.363
Septiembre	36.733	28.570	27.619	28.363	32.049
Octubre	36.856	29.048	26.413	41.076	30.757
Noviembre	38.159	29.874	32.835	41.276	32.896
Diciembre	26.290	40.077	27.013	37.049	27.364
Total general	393.175	345.764	364.152	387.659	431.826

Nota. Información obtenida de la empresa objeto del presente estudio, 2025.

Tabla 3*Costo anual por cilindro reparado desde 2021 hasta 2025.*

COSTO USD/CIL X AÑO					
PLANTA PIFO	2021	2022	2023	2024	2025
Enero	0,91	1,29	1,74	1,40	1,01
Febrero	1,14	1,25	2,02	0,94	1,1
Marzo	1,17	1,38	1,37	0,79	1,16
Abril	1,18	1,40	1,73	1,29	0,98
Mayo	1,10	1,03	1,51	0,90	0,94
Junio	1,08	1,00	1,42	0,94	0,89
Julio	0,95	1,02	1,60	0,93	0,82
Agosto	1,11	1,09	1,67	0,94	0,95
Septiembre	1,15	1,44	1,83	1,28	1,42
Octubre	1,30	1,15	1,81	1,17	1,45
Noviembre	1,07	1,52	0,91	1,06	1,38
Diciembre	1,15	1,56	1,66	0,96	1,42
Total general	1,11	1,26	1,61	1,05	1,13

Nota. Información obtenida de la empresa objeto del presente estudio

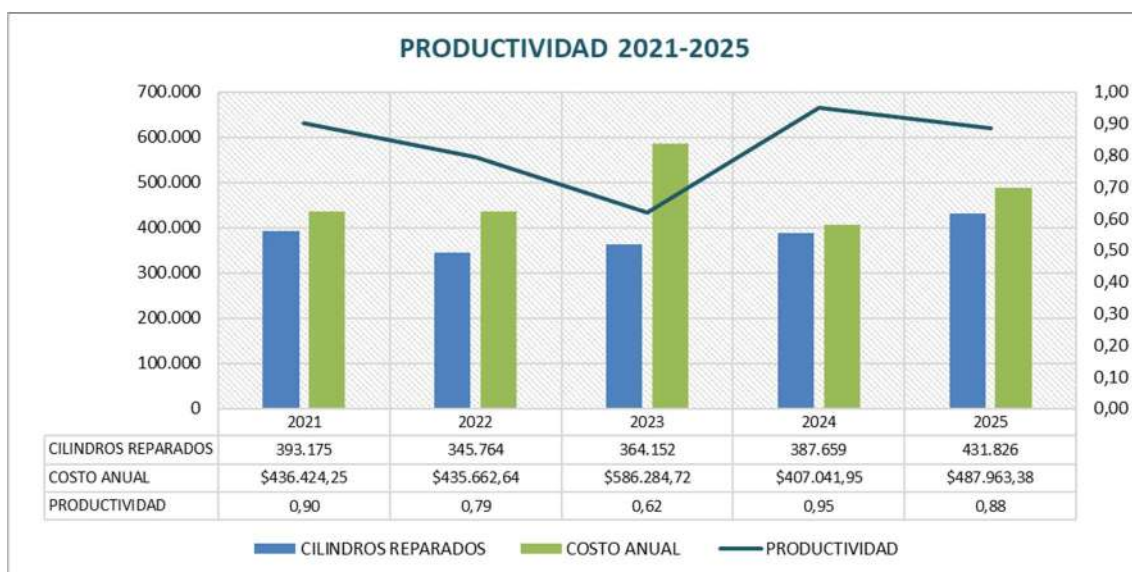
Para la compañía el costo aproximado de un cilindro de GLP doméstico de 15kg es de 27,00 dólares americanos por tanto al tener que dar de baja y destruir cilindros, se debe invertir en reposiciones que generan altos costos, en este contexto el objetivo de la compañía es asegurar la optimización del mantenimiento y retocado, puesto que estos procesos permiten minimizar la cantidad de cilindros para destrucción, desacelerar su deterioro y garantizar que el cilindro cuente con las condiciones de seguridad y calidad ideales para el uso en los hogares, no obstante los procesos mencionados también generan costos operativos que varían en función de factores relacionados a la productividad y uso adecuado de recursos y maquinaria.

Al tomar como referencia la información de la Tabla 2 *Cilindros que se reparan anualmente desde el 2021 hasta el 2025.*) y Tabla 3 *Costo anual por cilindro reparado desde 2021 hasta 2025.*); se ha establecido una relación entre las unidades reparadas anualmente y el costo anual de reparación de cilindros desde el 2021 hasta el 2025. En este contexto, tomando en cuenta a (García-Alcaraz, 2022) en donde se menciona que la productividad no es más que una relación

entre la producción obtenida en un periodo de tiempo y los recursos utilizados para la obtención de esta producción en el mismo periodo; se ha planteado dicha relación con la finalidad de obtener los indicadores de productividad de los 5 años mencionados según se aprecia en la Figura 4, en donde un factor a destacar es la productividad obtenida en el año 2025 el cual fue el año con mayor cantidad de cilindros reparados 481.826, sin embargo no fue el mas productivo debido a que los costos se incrementaron, obteniendo una productividad de 0,88 cilindros por cada dólar invertido; los costos que más se elevan son la mano de obra con horas extras al (50 y 100)%, mayor cantidad de insumos como Equipos de protección personal (EPP), además de un índice elevado de reprocesos. El año en el que se registra una mejor productividad es el 2024 con una productividad de 0,95 cilindros por cada dólar invertido, sin embargo, la cantidad de unidades producidas fue menor, implicando afectaciones por el deterioro de cilindros, clientes no conformes y sanciones por los organismos de control.

En Ecuador, el control de la comercialización y distribución de Gas Licuado de Petróleo (GLP) es sumamente estricto, ya que se trata de un sector estratégico por lo que las sanciones por tener cilindros que no cumplen con la normativa (golpeados, oxidados, sin válvula de seguridad, sin identificación o fuera de la norma INEN) se rigen por (Ley de Hidrocarburos. Decreto Supremo No. 2967., 2023), cuyas sanciones para comercializadoras por este tipo de infracciones técnicas según Art.77 suelen oscilar entre 25 a 50 salarios básicos unificados (SBU), dependiendo de la gravedad del riesgo generado y el desapego a la normativa, en este contexto la compañía fue sancionada con 3 expedientes administrativos debido a incumplimiento de los estándares de calidad de cilindros de GLP doméstico, sumando un valor de 43.380 dólares en por concepto de sanciones traduciéndose en gastos que impactan a la utilidad de la compañía y de manera indirecta a los índices de productividad.

Figura 4
Comparativa de productividad desde el 2021 al 2025.

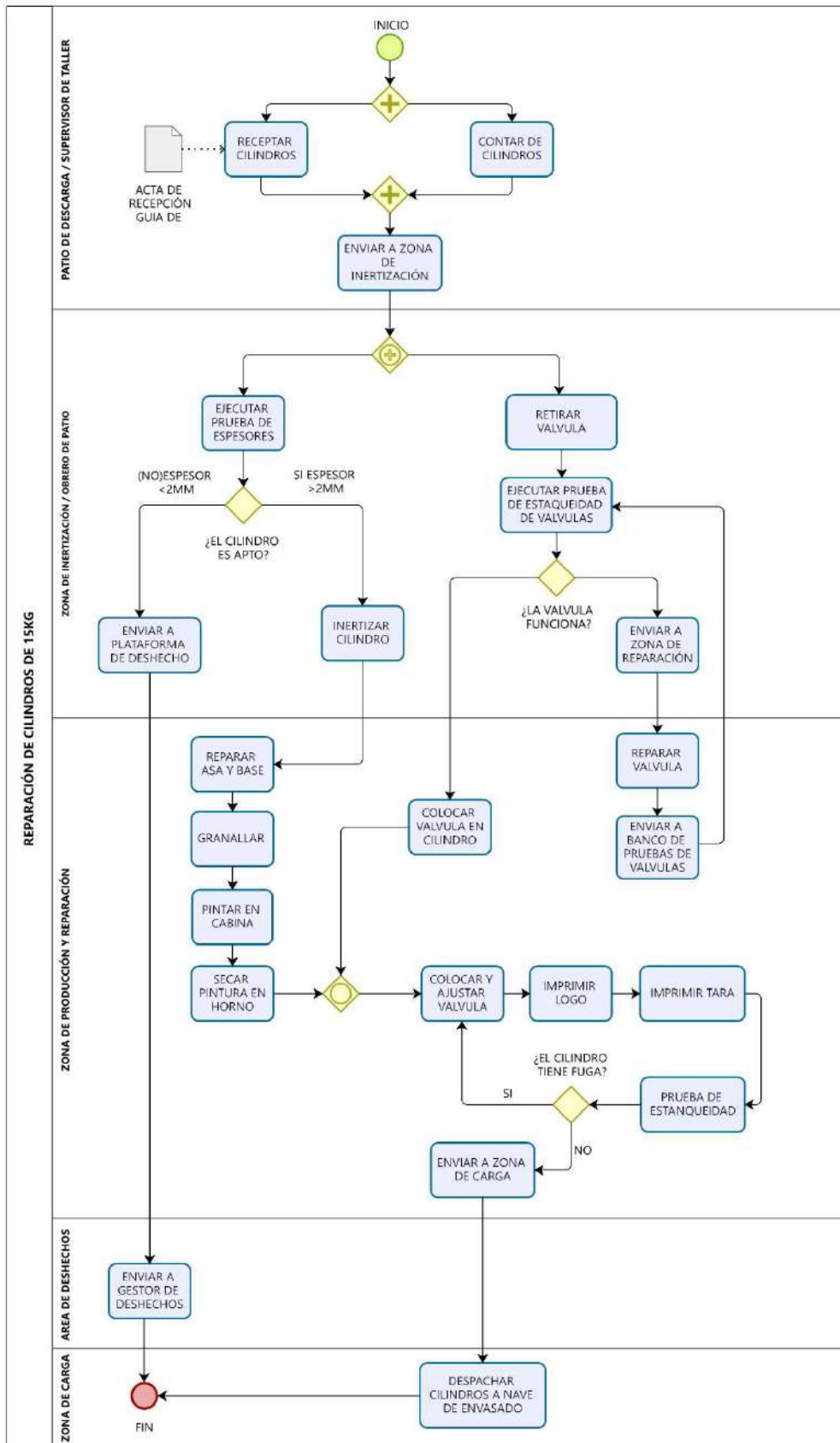


Nota: Elaboración propia.

Bajo estos parámetros, la compañía busca optimizar los procesos y los recursos, planteándose como principal objetivo una producción diaria de 1750 cilindros reparados, usando la menor cantidad de recursos y personal, con lo cual se obtendría una evidente mejora en productividad, reducción de costos y principalmente se reduciría en gran medida el deterioro y destrucción del cilindro, considerando este particular se han generado análisis previos y levantamientos de información con la finalidad de encontrar oportunidades de mejora y determinar los principales cuellos de botella que afectan al proceso y reducen su capacidad. Un análisis rápido permite ubicar como principales cuellos de botella a dos procesos puntuales; Impresión manual de logo e impresión manual de tara, además de considerarlos un problema para la calidad ya que ambos procesos presentan variabilidad debido a la naturaleza de su ejecución, netamente manual, lo que a su vez conlleva problemas ergonómicos para el operario por la existencia de posturas forzadas y repetitivas.

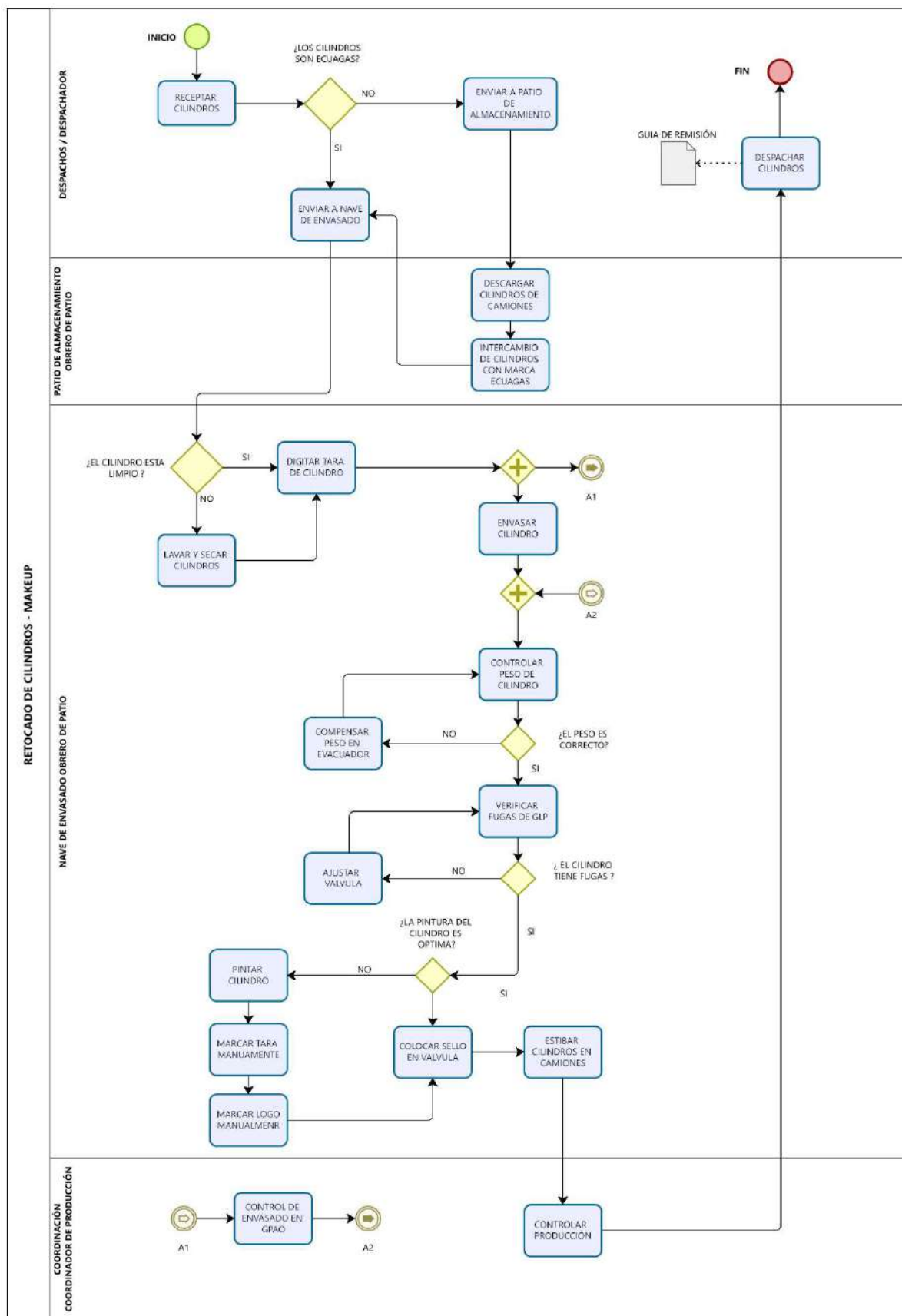
Los procesos de mantenimiento en cilindros de 15Kg se configuran de manera independiente lo que se puede conocer el diagrama de flujo correspondiente al proceso de reparación del cilindro según Figura 5, en cuanto a la Figura 6, se evidencia el flujo de trabajo del proceso de retocado, tanto la reparación de cilindros como el de retocado, comparten el proceso de impresión manual de logotipos e impresión manual de taras, mismos que se son fundamentales ya que el logotipo del cilindro permite conocer la procedencia y la marca del cilindro, mientras que la tara o peso es un dato informativo importante para conocer la capacidad del cilindro para almacenar GLP. Estas operaciones son usadas por la compañía con propósitos de trazabilidad, garantizar la seguridad además de dar cumplimiento a la normativa NTE INEN 111 cilindros de acero soldados para gas licuado de petróleo “GLP” requisitos e inspección (INEN, 2025) en la que se establecen los requisitos para la fabricación de cilindros metálicos principalmente en el numeral 8.1.3 que trata sobre el asa del cilindro y apartados relacionados a la marcación e identificación.

Figura 5
 Diagrama de proceso de reparación de cilindros.



Nota: Elaboración propia.

Figura 6
 Diagrama de proceso de makeup o retocado de cilindro.



Nota: Elaboración propia.

Mediante diferentes análisis, se ha identificado que el proceso de impresión manual de logotipos y taras, representan un cuello de botella debido los tiempos de ejecución dado que es netamente manual, además de otros inconvenientes como la baja calidad debido a la variabilidad del proceso Figura 7, además de los problemas ergonómicos para los operadores expuestos a movimientos forzados y repetitivos. Todas estas condiciones dan como resultado, colas de espera o acumulación de cilindros tal como se puede apreciar en Figura 8, lo que según (Alarcón, 2025) son signos de variaciones en el proceso producto de un desfase entre los tiempos de entrada respecto a los tiempos de salida, derivando en restricciones y efectos negativos en el flujo productivo; en cuanto a la calidad, el proceso presenta inconsistencias constantes, logotipos mal impresos, taras erróneas o faltantes, conllevando reprocesos y costos adicionales así como reducción en la productividad; finalmente y no menos importante, en términos de seguridad el proceso incide en varios riesgos hacia el operador debido a los vapores de pintura que se generan, también se evidencian riesgos ergonómicos producto de operaciones repetitivas y posturas forzadas según se aprecia en la Figura 9 y Figura 10, ambos procesos se ejecutan usando plantillas metálicas cortadas con la forma de la imagen a imprimir, misma que se marca mediante sublimación de pintura, por lo que el operario busca entre una serie de plantillas, la adecuada para proceder a la impresión; se puede visualizar posturas forzadas, así como repetitivas debido a la forma en la que se ejecuta la operación.

Figura 7

Baja calidad en la impresión de logotipos y taras.



Nota. Problemas en la calidad de la impresión, el logo presenta salpicaduras y la tara problemas de centrado y alineación.

Figura 8

Acumulación de cilindros a espera de proceso de impresión de tara y logo.



Nota. Acumulación de cilindros a la espera de impresión de logotipo y tara.

Figura 9

Impresión manual de logotipo de la compañía con uso de plantilla.



Nota. Se evidencia que la impresión manual de logotipo es repetitiva e implica el levantamiento repetitivo de carga.

Figura 10

Impresión manual de tara de cilindro con uso de plantillas.



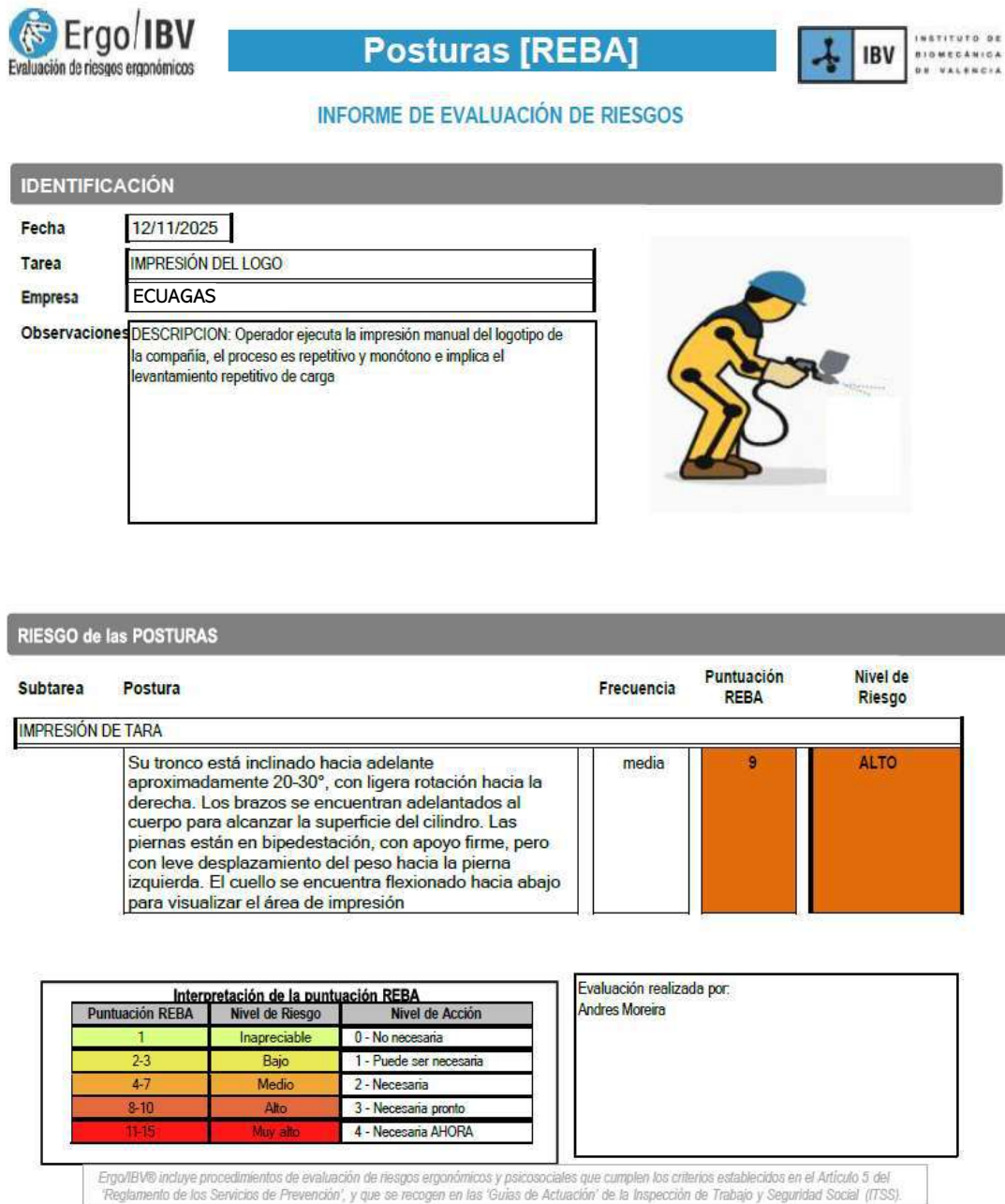
Nota. Ejecución manual de impresión de tara posterior al pesaje.

Análisis ergonómico usando el método REBA.

Al aplicar el método de evaluación rápida de cuerpo entero (REBA) para análisis ergonómico de las posturas que se generan en el proceso de impresión de logotipos y taras en cilindros de GLP de 15 kg, se puede evidenciar según Figura 11 y Figura 12, que ambas tareas presentan riesgos elevados para los operadores; la impresión del logotipo obtuvo una puntuación mediante análisis REBA de 9, catalogada como riesgo alto; mientras que la impresión de la tara alcanzó 11, considerado riesgo muy alto lo que corrobora la necesidad de intervención inmediata, según los informes estas operaciones exigen posturas forzadas como: flexión del tronco superior a 60°, cuello inclinado y brazos extendidos, movimientos repetitivos y manipulación de cargas superiores a 10 kg. Estas condiciones incrementan la probabilidad de lesiones musculoesqueléticas a mediano o largo plazo, afectando la productividad bienestar del trabajador por lo que es importante implementar medidas correctivas que eliminen o reduzcan estos riesgos.

En este sentido, la altura de los elementos de operación de la máquina deberán mantenerse dentro del rango ergonómico recomendado en (Decreto Ejecutivo N.º 255, 2024), aproximadamente entre 900 y 1100 mm desde el nivel del piso, evitando flexiones excesivas del tronco y elevaciones sostenidas de los miembros superiores, de la misma manera los dispositivos de mando y parada de emergencia deberán ubicarse dentro de la zona de alcance, comprendida entre 400 mm y 600 mm respecto al eje frontal del operador, reduciendo la necesidad de estiramientos o posturas forzadas. La automatización del proceso mediante actuadores eléctricos y neumáticos buscará minimizar la manipulación manual evitando a toda costa los riesgos que se producen actualmente.

Figura 11
Informe de análisis REBA de proceso de impresión de logo.



INFORME DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

DETALLE de la POSTURA

Subtarea Postura Frecuencia

Observaciones (postura) Referencia vídeo

Grupo A	Grupo B																																																																														
<p>TRONCO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Flexión >20° y <60° o extensión >20°</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Giro <input checked="" type="checkbox"/> Incl. lateral <input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>CUELLO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Flexión > 20°</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Giro <input type="checkbox"/> Incl. lateral <input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>PIERNAS</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Soporte bilateral simétrico</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Flex. rodilla 30-60° <input type="checkbox"/> >60° <input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: right;">Tabla A</td> <td style="text-align: center;">5</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">9</td> </tr> <tr> <td>FUERZA / CARGA</td> <td style="text-align: center;">+</td> </tr> <tr> <td>>10kg</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Fuerza repentina o brusca <input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">=</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Puntuación A</td> <td style="text-align: center;">8</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">12</td> </tr> </table>	Flexión >20° y <60° o extensión >20°	5	4	Giro <input checked="" type="checkbox"/> Incl. lateral <input type="checkbox"/>			Flexión > 20°	3	2	Giro <input type="checkbox"/> Incl. lateral <input type="checkbox"/>			Soporte bilateral simétrico	4	1	Flex. rodilla 30-60° <input type="checkbox"/> >60° <input type="checkbox"/>			Tabla A	5		9	FUERZA / CARGA	+	>10kg	3	Fuerza repentina o brusca <input type="checkbox"/>	3		=	Puntuación A	8		12	<p>BRAZO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">Derecho</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Izquierdo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Flexión 20-45°</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Abducc. <input type="checkbox"/> Rotación <input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Hombro elevado <input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Apoyado / a favor gravedad <input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table> <p>ANTEBRAZO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Flexión 60-100°</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> </table> <p>MUÑECA</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Flexión o extensión > 0° y <15°</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Giro <input type="checkbox"/> Dev. lateral <input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: right;">Tabla B</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">9</td> </tr> <tr> <td>AGARRE</td> <td style="text-align: center;">+</td> </tr> <tr> <td>Buena</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">=</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Puntuación B</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">12</td> </tr> </table>	Derecho	Izquierdo	Flexión 20-45°	6	2	Abducc. <input type="checkbox"/> Rotación <input type="checkbox"/>	6	2	Hombro elevado <input type="checkbox"/>	-	-	Apoyado / a favor gravedad <input type="checkbox"/>	-	-	Flexión 60-100°	1	2		2	2	Flexión o extensión > 0° y <15°	3	2	3	Giro <input type="checkbox"/> Dev. lateral <input checked="" type="checkbox"/>				Tabla B	2		9	AGARRE	+	Buena	0		3		=	Puntuación B	2		12
Flexión >20° y <60° o extensión >20°	5	4																																																																													
Giro <input checked="" type="checkbox"/> Incl. lateral <input type="checkbox"/>																																																																															
Flexión > 20°	3	2																																																																													
Giro <input type="checkbox"/> Incl. lateral <input type="checkbox"/>																																																																															
Soporte bilateral simétrico	4	1																																																																													
Flex. rodilla 30-60° <input type="checkbox"/> >60° <input type="checkbox"/>																																																																															
Tabla A	5																																																																														
	9																																																																														
FUERZA / CARGA	+																																																																														
>10kg	3																																																																														
Fuerza repentina o brusca <input type="checkbox"/>	3																																																																														
	=																																																																														
Puntuación A	8																																																																														
	12																																																																														
Derecho	Izquierdo																																																																														
Flexión 20-45°	6	2																																																																													
Abducc. <input type="checkbox"/> Rotación <input type="checkbox"/>	6	2																																																																													
Hombro elevado <input type="checkbox"/>	-	-																																																																													
Apoyado / a favor gravedad <input type="checkbox"/>	-	-																																																																													
Flexión 60-100°	1	2																																																																													
	2	2																																																																													
Flexión o extensión > 0° y <15°	3	2	3																																																																												
Giro <input type="checkbox"/> Dev. lateral <input checked="" type="checkbox"/>																																																																															
Tabla B	2																																																																														
	9																																																																														
AGARRE	+																																																																														
Buena	0																																																																														
	3																																																																														
	=																																																																														
Puntuación B	2																																																																														
	12																																																																														

INFORME DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

	Tabla C	8	
		12	
ACTIVIDAD		+	
Estática (mantenida > 1 min)	<input type="checkbox"/>	1	
Repetida (> 4 veces/min)	<input checked="" type="checkbox"/>	3	
Cambios posturales / base inestable	<input type="checkbox"/>	=	
Puntuación REBA		9	
Nivel de Riesgo	Alto		
Nivel de Acción	Necesaria pronto		

Nota. Estudio realizado por el investigador.

Figura 12
Informe de análisis REBA de proceso de impresión de tara.

INFORME DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

IDENTIFICACIÓN

Fecha 12/11/2025

Tarea IMPRESIÓN DE TARA

Empresa ECUAGAS

Observaciones DESCRIPCIÓN: Operador ejecuta la impresión manual de la tara posterior al pesaje que se ejecuta con una báscula, el proceso se ejecuta usando plantillas mecánicas cortadas con la forma del número y se marcan mediante sublimación de pintura en función al peso del cilindro que normalmente varía entre 14.0kg y 16.0kg por lo que el operario busca entre una serie de plantillas, la adecuada para el peso y procede a la impresión, se puede visualizar una postura forzada, así como repetitiva debido a la forma en la que ejecuta la operación



RIESGO de las POSTURAS

Subtarea	Postura	Frecuencia	Puntuación REBA	Nivel de Riesgo
IMPRESIÓN DE TARA	La postura global implica flexión del tronco, flexión del cuello, extensión de los brazos y una ligera rotación del cuerpo hacia el objeto que se manipula	media	11	Muy alto

Interpretación de la puntuación REBA

Puntuación REBA	Nivel de Riesgo	Nivel de Acción
1	Inapreciable	0 - No necesaria
2-3	Bajo	1 - Puede ser necesaria
4-7	Medio	2 - Necesaria
8-10	Alto	3 - Necesaria pronto
11-15	Muy alto	4 - Necesaria AHORA

Evaluación realizada por:
Andrés Moreira

Ergo/IBV® incluye procedimientos de evaluación de riesgos ergonómicos y psicosociales que cumplen los criterios establecidos en el Artículo 5 del 'Reglamento de los Servicios de Prevención', y que se recogen en las 'Guías de Actuación' de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social (ITSS).

Grupo A	Grupo B																																																																																																																																		
<p>TRONCO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Flexión > 60°</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Giro</td> <td>X</td> <td>Inclinación lateral</td> <td>-</td> <td>5 5</td> </tr> </table> <p>CUELLO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Flexión > 20°</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Giro</td> <td></td> <td>Inclinación lateral</td> <td></td> <td>3 2</td> </tr> </table> <p>PIERNAS</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Soporte bilateral simétrico</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flex. rodilla 30-60°</td> <td>-</td> <td>>60°</td> <td></td> <td>4 1</td> </tr> </table> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;">Tabla A</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">FUERZA / CARGA</td> <td style="text-align: center;">+</td> </tr> <tr> <td>>10kg</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td> </tr> <tr> <td>Fuerza repentina o brusca</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">=</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Puntuación A</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">12</td> </tr> </table>	Flexión > 60°					Giro	X	Inclinación lateral	-	5 5	Flexión > 20°					Giro		Inclinación lateral		3 2	Soporte bilateral simétrico					Flex. rodilla 30-60°	-	>60°		4 1	Tabla A	6		9	FUERZA / CARGA	+	>10kg	3	Fuerza repentina o brusca	-		=	Puntuación A	9		12	<p>BRAZO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Derecho</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Izquierdo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Flexión 20-45°</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Abducc.</td> <td>X</td> <td>Rotación</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6</td> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td> </tr> <tr> <td>Hombro elevado</td> <td></td> <td>Abducc.</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Hombro elevado</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Apoyado / a favor gravedad</td> <td>-</td> <td>Apoyado / a favor gravedad</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6</td> </tr> </tbody> </table> <p>ANTEBRAZO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Flexión 60-100°</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</td> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</td> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</td> </tr> </table> <p>MUÑECA</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Flexión o extensión > 0° y < 15°</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Giro</td> <td>-</td> <td>Desv. lateral</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Giro</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Desv. lateral</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td> </tr> </table> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;">Tabla B</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">AGARRE</td> <td style="text-align: center;">+</td> </tr> <tr> <td>Bueno</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">=</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Puntuación B</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">12</td> </tr> </table>	Derecho		Izquierdo		Flexión 20-45°		-		Abducc.	X	Rotación			6		3	Hombro elevado		Abducc.	-			Hombro elevado	-	Apoyado / a favor gravedad	-	Apoyado / a favor gravedad	-				6	Flexión 60-100°					1		2		2		2	Flexión o extensión > 0° y < 15°				Giro	-	Desv. lateral	X		3		2			Giro	-			Desv. lateral	-				3	Tabla B	4		9	AGARRE	+	Bueno	0		3		=	Puntuación B	5		12
Flexión > 60°																																																																																																																																			
Giro	X	Inclinación lateral	-	5 5																																																																																																																															
Flexión > 20°																																																																																																																																			
Giro		Inclinación lateral		3 2																																																																																																																															
Soporte bilateral simétrico																																																																																																																																			
Flex. rodilla 30-60°	-	>60°		4 1																																																																																																																															
Tabla A	6																																																																																																																																		
	9																																																																																																																																		
FUERZA / CARGA	+																																																																																																																																		
>10kg	3																																																																																																																																		
Fuerza repentina o brusca	-																																																																																																																																		
	=																																																																																																																																		
Puntuación A	9																																																																																																																																		
	12																																																																																																																																		
Derecho		Izquierdo																																																																																																																																	
Flexión 20-45°		-																																																																																																																																	
Abducc.	X	Rotación																																																																																																																																	
	6		3																																																																																																																																
Hombro elevado		Abducc.	-																																																																																																																																
		Hombro elevado	-																																																																																																																																
Apoyado / a favor gravedad	-	Apoyado / a favor gravedad	-																																																																																																																																
			6																																																																																																																																
Flexión 60-100°																																																																																																																																			
	1		2																																																																																																																																
	2		2																																																																																																																																
Flexión o extensión > 0° y < 15°																																																																																																																																			
Giro	-	Desv. lateral	X																																																																																																																																
	3		2																																																																																																																																
		Giro	-																																																																																																																																
		Desv. lateral	-																																																																																																																																
			3																																																																																																																																
Tabla B	4																																																																																																																																		
	9																																																																																																																																		
AGARRE	+																																																																																																																																		
Bueno	0																																																																																																																																		
	3																																																																																																																																		
	=																																																																																																																																		
Puntuación B	5																																																																																																																																		
	12																																																																																																																																		

Tabla C	8
	12
ACTIVIDAD	+
Estática (mantenida > 1 min)	-
Repetida (> 4 veces/min)	X
Cambios posturales / base inestable	-
	=
Puntuación REBA	9
Nivel de Riesgo	Alto
Nivel de Acción	Necesaria pronto

Nota. Estudio realizado por el investigador.

Análisis de procesos mediante Cursograma analítico

Si bien es cierto, la información y fotografías expuestas, permiten conocer la situación actual y dar una idea de la magnitud de los inconvenientes del proceso, mediante la aplicación de un cursograma analítico, se puede evidenciar de una manera más gráfica y detallada cómo se llevan a cabo las operaciones, demoras, almacenamientos, transportes y distancias. Para el proceso de reparación del cilindro de acuerdo con el cursograma realizado según la Figura 13, se aprecia un flujo con poca variabilidad hasta la impresión manual de logotipos taras, ambas operaciones tienen un tiempo particularmente elevado, 100,4 segundos al igual que en el proceso de retocado de cilindro evaluado en el cursograma analítico de la Figura 14.

El análisis realizado muestra la presencia de demoras y reprocesos asociados a errores de operarios, lo cual obliga a repetir la operación o a realizar ajustes manuales adicionales, estas demoras reducen la eficiencia del proceso e incrementan la carga física y mental del trabajador afectando la productividad general; otro aspecto relevante identificado es la alta interacción del operario con el proceso en la etapa de impresión manual, lo que lo expone a posturas forzadas y esfuerzos innecesarios, condición que fueron corroboradas mediante la evaluación ergonómica del método REBA. En contraste, las etapas del proceso que presentan un grado de automatización más avanzado muestran menores tiempos de ejecución; comparación que refuerza la conclusión de que la impresión manual de taras y logotipos constituye el cuello de botella del proceso y el factor limitante en términos de eficiencia, calidad y ergonomía.

Figura 13

Cursograma analítico proceso de reparación de cilindros.

CURSOGRAMA ANALÍTICO TALLER DE REPARACIÓN DE CILINDROS										
Hoja N°1 De:1 Diagrama N°:2			Operario ()	Material ()	Equipo (x)					
Fecha: Octubre 2025			RESUMEN							
Proceso: Reparación de cilindro de 15 Kg			SÍMBOLO	ACTIVIDAD	Act.	Pro.	Econ.			
Producto: Tanque de GLP 15 Kg			○	Operación	14					
Método: Actual (X) / Propuesto ()			⇒	Transporte	1					
			□	Inspección	1					
Operario: Roberto Erazo			D	Espera	0					
Tamaño de lote : 1			▽	Almacenaje	2					
Elaborado por: Andres Moreira			Total de actividades realizadas			35,0				
			Distancia total en metros			341,2				
			Tiempo min/ cilindro			7,6				
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	CANTIDAD	DISTANCIA	TIEMPO SEG	SÍMBOLOS PROCESOS					
					○	⇒	□	D	▽	
1	Trasladar cilindro de nave de envasado a TRC.	1	303	0,82		●				
2	Descargar cilindros en patio de TRC.	1	0,0	3,0						●
3	Inspeccionar cilindros (espesores, deformaciones, corrosion).	1	0,0	7			●			
4	Despresurizar cilindros con ataques rápidos.	2	0,0	30,0	●					
5	Colocar cilindro en transportador.	1	1,0	2,0	●					
6	Retirar válvula de GLP.	1	0,0	12,0	●					
7	Lavar e inertizar cilindros.	1	0,0	27,0	●					
8	Enderezar base de cilindro.	1	12,0	25,0	●					
9	Retiro de base de cilindro.	1	1,0	31,0	●					
10	Retiro de asa de cilindro.	1	1,0	32,0	●					
11	Montaje de asa de cilindro.	1	1,0	22,0	●					
12	Montaje de base de cilindro.	1	1,5	23,0	●					
13	Granallado de cilindro.	2	2,0	41,5	●					
14	Pintado electrostático.	2	2,3	36,7	●					
15	Curado de pintura electrostática.	2	11,0	36,0	●					
16	Colocación y ajuste de válvula de GLP.	1	2,5	16,0	●					
17	Impresión manual de logotipo empresarial.	1	0,55	44,0	●					
18	Impresión manual de tara de cilindro.	1	0,4	56,3	●					
19	Inyección de aire presurizado de cilindro.	6	0,4	44,1	●					
20	Prueba de estanqueidad de cilindro.	6	0,5	34,8	●					
21	Bajar y apilar cilindro en zona de carga	1	1,0	10,0						●
Tiempo Segundos :		455,32			14	1	1	0	2	
Distancia en metros :		341,15								

Nota. Estudio realizado por el investigador con datos reales de la compañía.

Figura 14

Cursograma analítico proceso de Makeup o Retocado de cilindro.

CURSOGRAMA ANALÍTICO NAVE DE ENVASADO									
Hoja N°1 De:1 Diagrama N°:2				Operario ()		Material ()		Equipo (x)	
Fecha: Octubre 2025				RESUMEN					
Proceso: Retocado de cilindro de Glp 15 Kg				SÍMBOLO	ACTIVIDAD	Act.	Pro.	Econ.	
Producto: Tanque de GLP 15 Kg				○	Operación	9			
Método: Actual (X) / Propuesto ()				⇒	Transporte	2			
Operario: Marco Gonzales				□	Inspección	2			
Tamaño de lote : 1				D	Espera	0			
Elaborado por: Andres Moreira				▽	Almacenaje	0			
				Total de actividades realizadas		13			
				Distancia total en metros		77,6			
				Tiempo min/ cilindro		3,272			
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	CANTIDAD	DISTANCIA	TIEMPO SEG	SÍMBOLOS PROCESOS				
					○	⇒	□	D	▽
1	Descargar cilindro en transportadores	1	1	2,0		●			
2	Lavar cilindros en sistema de cepillado	1	3,0	8,0	●				
3	Lavar cilindros en sistema de agua por chorro a presión	1	2,7	7,7	●				
4	Secar cilindros en cabina de secado	1	6,0	5,3	●				
5	Digitar tara en cilindro	1	9,6	3,4	●				
6	Envasar cilindro en carrusel 2	1	12,5	42,0	●				
7	Controlar pesos en bascula de control	1	13,0	3,0			●		
8	Inspeccionar Fugas en detectora 2	1	5,0	2,72			●		
9	Pintar cilindros en cabina de pintura liquida	1	5,8	12,0	●				
10	Impresión manual de logotipo empresarial.	1	12,0	44,0	●				
11	Impresión manual de tara de cilindro.	1	4,0	56,3	●				
12	Colocar sellos en valvula	1	2,0	4,9	●				
13	Despachar cilindros en camiones	1	1,0	8,4		●			
Tiempo Segundos :			196,32		9	2	2	0	0
Distancia en metros :			77,6						

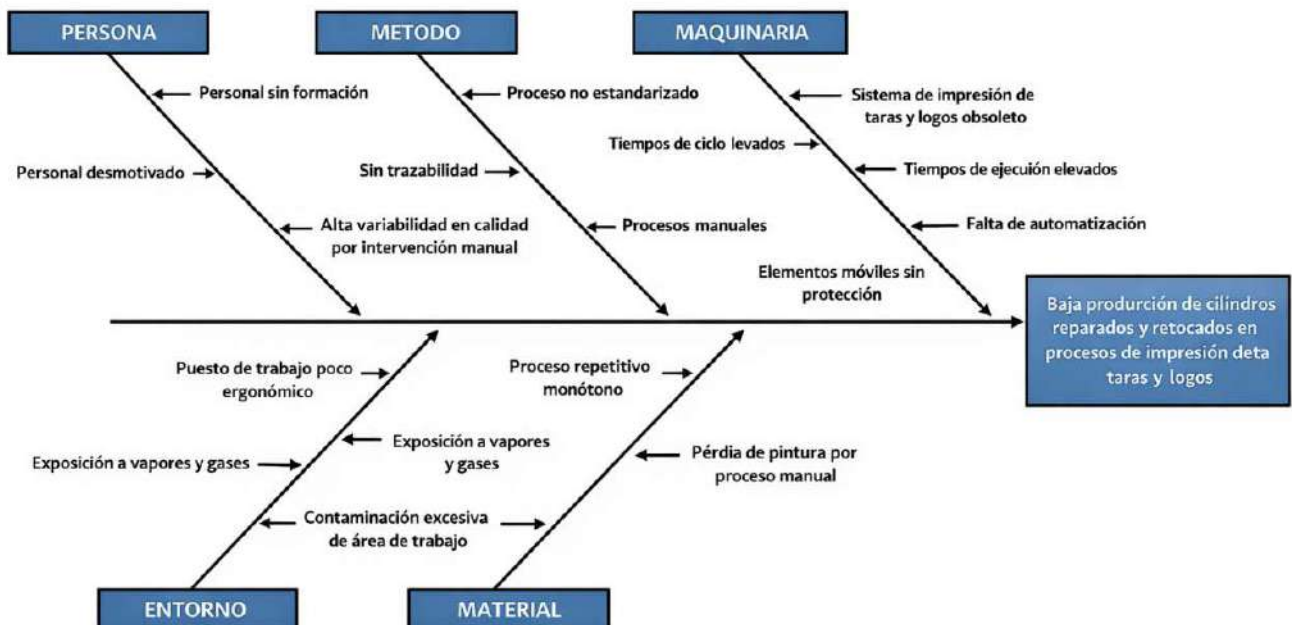
Nota. Estudio realizado por el investigador con datos reales de la compañía.

Análisis del proceso mediante diagrama de Ishikawa

El diagrama de causa efecto o diagrama de Ishikawa fue diseñado por Kaoru Ishikawa en 1957, es una metodología usada para entender las causas que producen un problema, con un enfoque aplicado a la calidad y productividad (Oca, 2021), en este caso esta metodología permitirá analizar de manera estructurada las posibles causas que generan problemas con la producción de cilindros pintados y retocados en la impresión manual de taras y logotipos; en este diagnóstico se ha encontrado varias causas que influyen de manera directa sobre el proceso tal como se puede apreciar en la Figura 15, este análisis de causa permite respaldar de manera técnica y objetiva la toma de decisiones posteriores que permitan eliminar o mitigar las causas raíz identificadas.

Figura 15

Diagrama causa efecto de proceso de impresión de taras y logotipos.

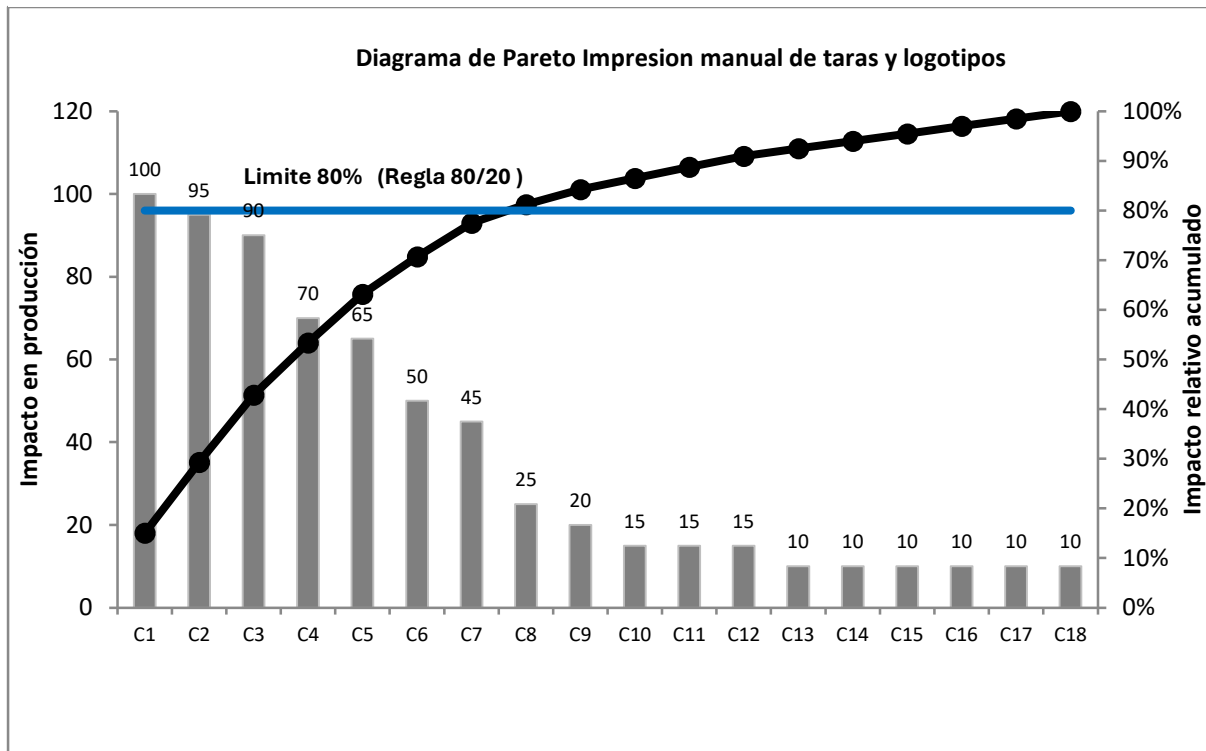


Nota. Estudio realizado por el investigador.

Análisis del proceso mediante diagrama de Pareto

En función a las causas determinadas mediante el análisis del diagrama causa efecto y de los cursogramas analíticos, se aplicará el principio de Pareto sobre los 18 factores de impacto identificados, estos factores fueron cuantificadas en función de su frecuencia de ocurrencia y su impacto sobre el tiempo de ciclo y la productividad general del sistema ponderados de 0 a 100, permitiendo la construcción del diagrama de Pareto de acuerdo con la Figura 16 y Tabla 4. Se puede apreciar que las primeras siete causas (C1 a C7) representan el 80% del impacto negativo total en la producción de taras y logotipos, según la regla 80/20, estas son las causas 'vitales'. Los esfuerzos de mejora y automatización deben concentrarse prioritariamente en reducir los tiempos de ejecución (C1), la manualidad de los procesos (C2) y la falta de estandarización (C7), ya que su solución mitigará casi el 80% de las ineficiencias observadas.

Figura 16
Gráfica de diagrama de Pareto.



Nota. Estudio realizado por el investigador.

Tabla 4*Base de datos de diagrama de Pareto.*

Id causa	Causa	Impacto de 0 a100 %	Porcentaje relativo	Porcentaje acumulado	
C1	Tiempos de ejecución elevados	100	100	15%	VITAL
C2	Procesos manuales	95	195	29%	VITAL
C3	Falta de automatización	90	285	43%	VITAL
C4	Tiempos de ciclo elevados	70	355	53%	VITAL
C5	Variabilidad en calidad por proceso manual	65	420	63%	VITAL
C6	Poca o ninguna trazabilidad	50	470	71%	VITAL
C7	Proceso no estandarizado	45	515	77%	VITAL
C8	Proceso repetitivo y monótono	25	540	81%	TRIVIAL
C9	Pérdida de pintura por proceso manual	20	560	84%	TRIVIAL
C10	Sistema de impresión obsoleto	15	575	86%	TRIVIAL
C11	Puesto de trabajo poco adecuado	15	590	89%	TRIVIAL
C12	Personal desmotivado	15	605	91%	TRIVIAL
C13	Elementos móviles sin protección	10	615	92%	TRIVIAL
C14	Pintura de baja calidad	10	625	94%	TRIVIAL
C15	Exposición a vapores y gases	10	635	95%	TRIVIAL
C16	Contaminación excesiva del área de trabajo	10	645	97%	TRIVIAL
C17	Almacenamiento inadecuado	10	655	98%	TRIVIAL
C18	Personal sin formación	10	665	100%	TRIVIAL

Con base en el análisis y comprensión de las problemáticas actuales evidenciadas en los procesos de mantenimiento de cilindros de GLP, se plantea el diseño de un sistema automático para la impresión de taras y logotipos, el cual permitirá eliminar los cuellos de botella que limitan la productividad reduciendo los tiempos de ciclo y optimizando el uso de recursos dando como resultado el cumplimiento de las metas de producción diarias planteadas por la compañía sin recurrir a horas extras ni asumir sobrecostos, mejorando la eficiencia y la optimización de los recursos, además la automatización garantiza uniformidad y precisión en la impresión evitando errores que afectan la calidad y la trazabilidad exigida por normativas como la (INEN, 2025) ya que al integrar un sistema automático con la selección correcta de la tara, se asegura el cumplimiento normativo y se fortalece la imagen corporativa, reduciendo reprocesos y sanciones.

El diseño de un sistema automático también responde a la necesidad de eliminar los riesgos ergonómicos y de seguridad detectados mediante el análisis ergonómico del método REBA, que calificó las tareas manuales con puntuaciones de riesgo alto y muy alto, por lo que, al eliminar posturas forzadas, movimientos repetitivos y reducir la interacción operario máquina, se reducen los riesgos al personal. El sistema automático no solo resuelve los problemas actuales, sino que aporta beneficios integrales en productividad, calidad, seguridad y cumplimiento normativo, consolidando un entorno eficiente y seguro para la empresa y sus trabajadores.

Área de estudio

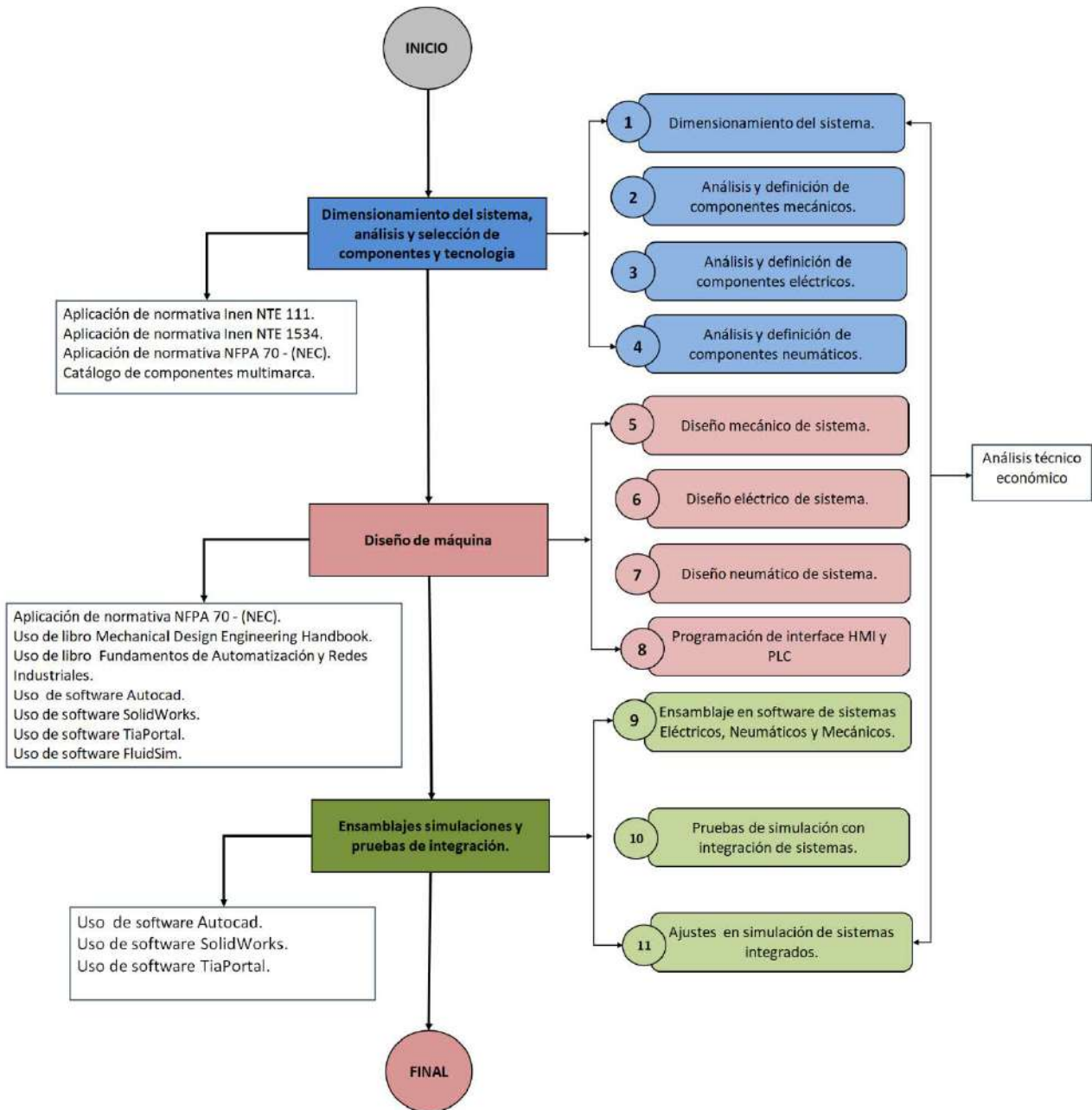
Tabla 5
Área de estudio

Área de estudio	
Dominio	Tecnología y Sociedad
Línea de investigación	Automatización y Redes
Sub línea de investigación	Diseño e implementación de sistemas electromecánicos, eléctricos/electrónicos, para satisfacer necesidades del sector productivo y de servicios mediante herramientas automatizadas.
Campo	Ingeniería Industrial
Área	Instalaciones Industriales
Aspectos	Diseño de maquinaria
Objeto de estudio	Diseño de un sistema automatizado para la impresión de taras y logotipos en cilindros de GLP doméstico para una planta envasadora.
Periodo de Análisis	noviembre 2025 a marzo 2026

Diseño de modelo operativo

Figura 17

Diagrama de Red – Modelo operativo.



Nota. Estudio realizado por el investigador.

Desarrollo del modelo operativo

En base a las actividades planteadas en la Figura 17, se ejecutarán todas las acciones necesarias para el cumplimiento de los objetivos planteados en los tiempos

establecidos, estas actividades están divididas en 3 etapas fundamentales descritas a continuación.

Dimensionamiento del sistema y selección de componentes y tecnología

En esta etapa se plantea realizar un dimensionamiento del sistema en base a las necesidades obtenidas mediante la aplicación de la metodología despliegue de función de la calidad (QFD), cuyos resultados permitirán plantar las bases sobre los requisitos que deberá cumplir el sistema en base a los requerimientos del cliente. Para el dimensionamiento del sistema también de deberán tomar en las normativas; (INEN, 2025) cilindros de acero soldados para GLP inspección, marcado y requisitos técnicos aplicables al diseño, pruebas hidrostáticas y marcado permanente de cilindros; sección 8 (Marcado y rotulado) (INEN, 2025); INEN NTE 1534 prevención de incendios. almacenaje de cilindros para gas licuado de petróleo (GLP) (INEN , 2015); NFPA 70 que establece los estándares de seguridad para el diseño, la instalación y la inspección de instalaciones eléctricas en entornos residenciales, comerciales e industriales (National Fire Protection Association, 2023). Estas normativas permitirán tomar en cuenta los aspectos técnicos importantes a considerar para el dimensionamiento correcto del sistema que consta de 4 subetapas.

- Dimensionamiento del sistema
- Selección de componentes mecánicos.
- Selección de componentes eléctricos.
- Selección de componentes neumáticos.

Producto de la selección de componentes y dimensionamiento del sistema, se debería derivar un análisis técnico y económico con el cual se podrán realizar ajustes al sistema propuesto y conocer los costos del proyecto, información que podrá ser usada para determinar la factibilidad de la implementación del sistema.

Diseño mecánico, eléctrico, neumático y programación.

Una vez dimensionados los sistemas y subsistemas en base a la normativa legal aplicable, resta el diseño para el cual se deberán considerar la aplicación del despliegue de función de la calidad, así como la normativa aplicable y la bibliografía necesaria para el correcto desarrollo del diseño acorde a estándares ingenieriles y técnicos, esta etapa cuenta con 4 subetapas que deberán ejecutarse haciendo uso de softwares de diseño y programación como; AutoCAD y SolidWorks diseño electromecánico, Fluid Sim diseño de los sistemas neumáticos y TiaPortal para la programación de controladores lógicos programables e interfaces HMI. La posterior unificación de estos softwares permitirá la integración de los sistemas y posteriores pruebas de funcionamiento.

- Diseño mecánico de sistema.
- Diseño eléctrico de sistema.
- Diseño neumático de sistema.
- Programación de interfaz HMI y PLC

Ensamblajes simulaciones y pruebas de integración

En esta etapa se realizará el ensamblaje de los sistemas: mecánico, eléctrico, neumático; diseñados de manera independiente con el fin de conocer el funcionamiento completo del sistema integrado, mediante simulaciones de movimientos y de programación, esto será de mucha utilidad para conocer si la propuesta cumple con los requisitos planteados, permitirá realizar los ajustes y modificaciones necesarios y generar las evaluaciones técnicas para futuras propuestas de implementación basadas en factibilidad. La etapa en mención cuenta con una cantidad de 4 subetapas organizadas en orden cronológico según Figura 17.

Capítulo III

Propuesta y resultados esperados

Dimensionamiento del sistema y selección de componentes y tecnología

Dimensionamiento del sistema.

En base a los hallazgos tomados del diagnóstico e ingeniería del proyecto del capítulo II se propone desarrollar el diseño de un sistema automatizado para la impresión de taras y logotipos en cilindros de GLP doméstico de 15 kg , este diseño se fundamentará de manera rigurosa en la solución de las causas identificadas en el diagrama de Ishikawa y el Análisis de Pareto tales como; elevados tiempos de ciclo y procesos manuales debido a la dependencia de métodos operativos manuales que generan acumulaciones y cuellos de botella impidiendo alcanzar los objetivos de la compañía, además de la alta variabilidad en calidad producida por la intervención humana en la selección y colocación de plantillas resultando en inconsistencias en la calidad, afectando el cumplimiento normativo (INEN , 2015) y la imagen corporativa; finalmente la falta de trazabilidad es una aspecto a corregir esencial para la gestión de calidad y la gestión del inventario. El sistema propuesto pretende transformar estas operaciones en un proceso eficiente, seguro y que garantice la calidad, mediante la integración de tecnologías automatizadas de alta precisión y confiabilidad.

Aplicación de metodología QFD para dimensionamiento del sistema.

Con la finalidad de entender las necesidades de la compañía así como las de los clientes internos “Operarios”, se aplicó una herramienta de gestión de calidad conocida como QFD, usada con diferentes propósitos como medir la satisfacción de los clientes, sus necesidades o con la finalidad de proponer el diseño de un sistema o equipo y evaluar la mejora alternativa en función al análisis (Landeta, 2013), consecuentemente al análisis ejecutado Figura 18, se ha podido obtener que los principales puntos a considerar a la

hora de realizar el diseño del sistema automático para la impresión de taras y logotipos de cilindros de GLP de 15 Kg , mismos que son: sistema de control mediante HMI y PLC con una ponderación de 214 equivalente al (20%) de importancia, capacidad de producción de 1750 cilindros con 214 o (20 %) de importancia, sistema de adquisición de datos por digitación con una importancia de 207 o (19%) y la impresión automática por sublimación con una importancia de 166 o (15%). Estos valores se obtuvieron a partir de la calificación de importancia del cliente y la puntuación entre los requisitos funcionales (Qué y los Cómo) según la formula (1), estos requisitos son puntos de partida sumamente importantes ya que son la base de la automatización propuesta en este estudio.

$$P_i = (C_{i1} \times P_{c1}) + (C_{i2} \times P_{c2}) + (C_{i3} \times P_{c3}) + \dots \quad (1)$$

Donde:

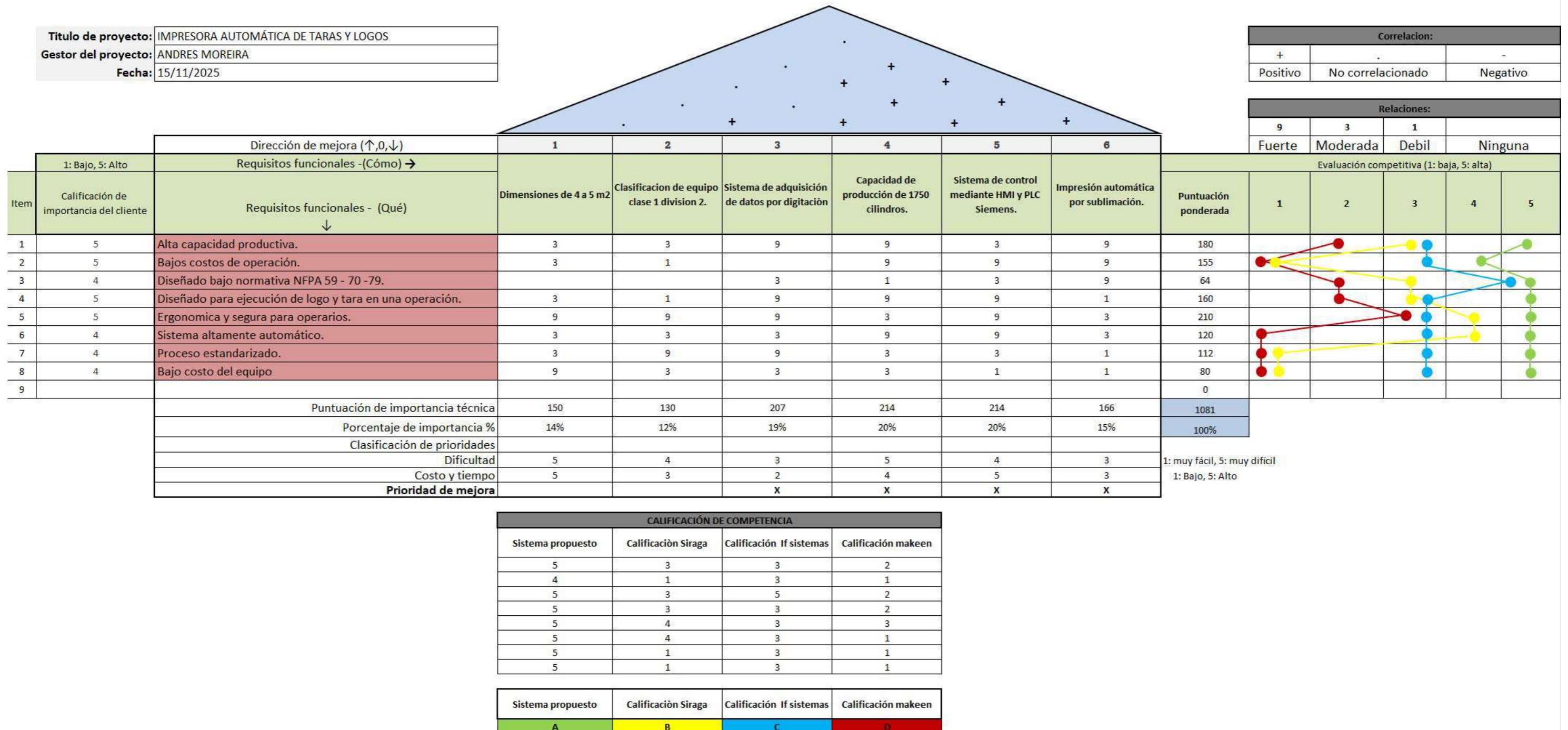
P_i = Puntuación de importancia.

C_i = Calificación de importancia.

P_c = Puntuación de correlación entre los Qué y los Cómo.

El diseño del sistema deberá tomar como base en los requerimientos de cliente priorizados en la metodología QFD, cuyos resultados definieron los requisitos técnicos que el sistema debe satisfacer con mayor grado de importancia; asegurar la precisión de la tara eliminando la variabilidad manual y sentando la base para la trazabilidad, eliminar el uso de plantillas manuales reduciendo drásticamente el tiempo de ejecución y garantizando uniformidad, finalmente proporcionar la lógica de automatización, la toma de decisiones, la selección de tara automática, la supervisión remota y la recolección de datos todo ello al menor costo posible, el análisis comparativo incluido en el QFD muestra que el sistema propuesto obtiene la calificación más alta frente a las alternativas evaluadas, destacándose en aspectos como la ergonomía, automatización y cumplimiento normativo.

Figura
Esquema QFD de sistema de impresión automático de tara y logotipos.



Nota. Estudio realizado por el investigador.

Dimensionamiento de sistemas en función a normativa aplicable.

El proceso de dimensionamiento y selección de tecnología para el sistema debe considerar las condiciones de una planta envasadora de GLP y las exigencias alineadas a las normativas de seguridad en atmósferas o ambientes explosivos, de acuerdo a los lineamientos de la (National Fire Protection Association, 2024) (NFPA 58) y el artículo 500 del (National Fire Protection Association, 2023)(NFPA 70), la zona de impresión de taras y logotipos se clasifica como Clase 1 división 2, consecuentemente el diseño deberá contemplar que los componentes electrónicos y eléctricos como sensores de posición, actuadores y PLC, posean estas características de diseño o barreras de seguridad intrínseca.

Al conocer las condiciones externas del sistema, se puede definir los diferentes elementos que lo componen y las áreas que se deberían considerar como clasificadas, estas consideraciones han derivado en la necesidad de crear un layout con la identificación de las condiciones externas del sistema, tales como ventilación, proximidad a fuentes de emisión de GLP, tránsito de cilindros y áreas de circulación de personal, esto resulta fundamental para definir adecuadamente los límites de las áreas clasificadas y la selección de los equipos asociados; dicho layout permite establecer criterios de instalación seguros, optimizar la disposición de los componentes del sistema y asegurar el cumplimiento de la normativa vigente en materia de seguridad industrial y operatividad del sistema, en el Anexo 2, se aprecia el layout de implantación de nave de envasado con la respectiva identificación de áreas según su clasificación cuya información se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6

Listado de distribución de etapas y sistemas circundantes según figura 21.

DISTRIBUCIÓN DE ETAPAS DE PROCESO		
Id	Descripción de etapa	Clasificación de áreas
A1	Sistema separador de cilindros	Clase 1 División 1
A2	Cabina de pintura líquida	Clase 1 División 1
A3	Cabina de secado de pintura	Clase 1 División 1
A4	Transportador de cilindros pintados	Clase 1 División 1
A5	Impresora automática de taras y logotipos	Clase 1 División 2
A6	Transportador de cilindros sin pintar.	Clase 1 División 1
A7	Unificación de líneas.	Clase 1 División 2
A8	Carrusel de envasado de cilindros de 15kg	Clase 1 División 1

Dimensionamiento de áreas operativas de la máquina

Una vez analizada la normativa aplicable y las instalaciones en las que se implantará el sistema propuesto; se usará el método de Guerchet, usado en el diseño de plantas para calcular el espacio adecuado para el desarrollo de las operaciones de una máquina o conjunto de máquinas (Boncangel. W, 2021), para el caso del dimensionamiento de nuestro sistema permitirá calcular el espacio físico requerido para la operación óptima del sistema planteado mediante el uso de la formula (2).

$$St = Ss + Sg + Se \quad (2)$$

Donde:

- **St**: Superficie de distribución, es la superficie total requerida que incluye el área de maniobra y acceso.
- **Ss**: Superficie estática (3), es el área ocupada por la estructura de la máquina, las dimensiones propuestas son 1,77 m x 0,77 m.

$$Ss = Largo \times ancho$$

$$Ss = 1,77 \times 0,77 \quad (3)$$

$$Ss = 1,3629 \text{ m}^2$$

S_g : Coeficiente de maniobra (4), determina la maniobrabilidad del operario, donde n representa el número de lados usados para la operación de la máquina, en el contexto del diseño del sistema propuesto, se considera la operación del equipo desde un solo lado $n = 1$.

$$S_g = S_s \times n_1$$

$$S_g = 1,3629 \times 1 \quad (4)$$

$$\mathbf{S_g = 1,3629 m^2}$$

- **S_e** : Coeficiente de utilización o evolución (5), donde k represente un coeficiente de circulación y maniobra cuyo valor seleccionado para efectos del cálculo del coeficiente de evolución será de $k = 0,50$ tomando en cuenta que las operaciones se deberán desarrollar de manera automática, ya que al pasar de un proceso manual o a uno controlado por PLC, los movimientos del operario se vuelven más predecibles y restringidos a una zona de control con HMI, un valor de $k = 0.5$ es el estándar para industrias mecánicas con automatización intermedia, donde no se requiere que el operario circule constantemente alrededor de toda la máquina, sino que se mantenga en estaciones de control y mando con la supervisión constante un operario, además no existen altos flujos de personal y la limpieza de los mecanismos de sublimación requieren ; las equivalencias del factor k se detallan en Tabla 7.

$$S_e = (S_s + S_g) \times k$$

$$S_e = (1,3629 + 1,3629) 0,50 \quad (5)$$

$$\mathbf{S_e = 1.3629 m^2}$$

- Desarrollo de cálculo de áreas operativas según método de Guerchet.

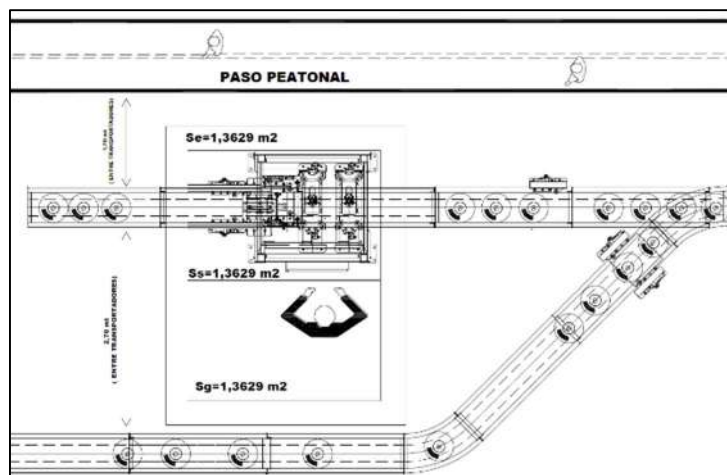
$$S_t = 1,3629 + 1,3629 + 1,3629$$

$$\mathbf{S_t = 4,01887 m^2} \quad (6)$$

Tabla 7*Equivalencias de coeficiente K o coeficiente de holgura.*

Sector / Industria	Coeficiente K
Gran industria, alimentos, movimientos con puentes grúa	0.05 a 0.15
Trabajo en cadena con transportadores mecánicos	0.10 a 0.25
Textil – hilado	0.05 a 0.25
Textil – hilado	0.5 a 1
Relojería, joyería	0.75 a 1
Pequeña industria mecánica	1.5 a 2
Industria mecánica en general	2 a 3

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el desarrollo de las ecuaciones del método de Guerchet, se han determinado los espacios físicos necesarios para considerar el diseño de todos los elementos del sistema y la maniobrabilidad para el operador y técnicos de mantenimiento, requiriéndose un total de 4,01887 metros cuadrados como superficie de distribución según (6), en este contexto, se ha planteado un layout mediante el uso de la herramienta AutoCAD, para la esquematización de las áreas adecuadas según los resultados obtenidos del método usado según la apreciación de Figura 19, esto facilitara dimensionar los elementos y mecanismos que conformaran el sistema y posteriormente seleccionar la tecnología idónea para mantener los parámetros espaciales conforme el planteamiento de (Boncangel. W, 2021).

Figura 19*Layout de espacios físicos según método de Guerchet.**Nota.* Elaboración propia.

Parámetros de funcionamiento

Para el dimensionamiento y posterior selección de componentes, se deberá considerar los parámetros de funcionamiento, según se detalla en la Tabla 8, energía eléctrica, neumática y espacio físico; considerando que se ha realizado el levantamiento de los elementos mencionados, es decir, la planta trabaja con una red trifásica de 220 Vac y tiene a disposición una fuente neumática de 120 Psi además de la disponibilidad de espacio físico para el diseño y futura implantación, también se ha considerado como fuentes adicionales 24 y 12 Vdc bajo la premisa de funcionamiento con barreras de protección intrínseca, las cuales operan en un rango de 1 a 35 voltios.

Tabla 8

Parámetros básicos de funcionamiento.

PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO	
Voltaje 1	220 Vac
Voltaje 2	24 Vdc
Voltaje 3	12 Vdc
Corriente 1	15 Amp
Corriente 2	2 Amp
Corriente 3	1 Amp
Frecuencia	60 Hz
Presión de aire	120 Psi
Espacio físico aproximado	5,00 m ²

Dimensionamiento de etapas de ejecución.

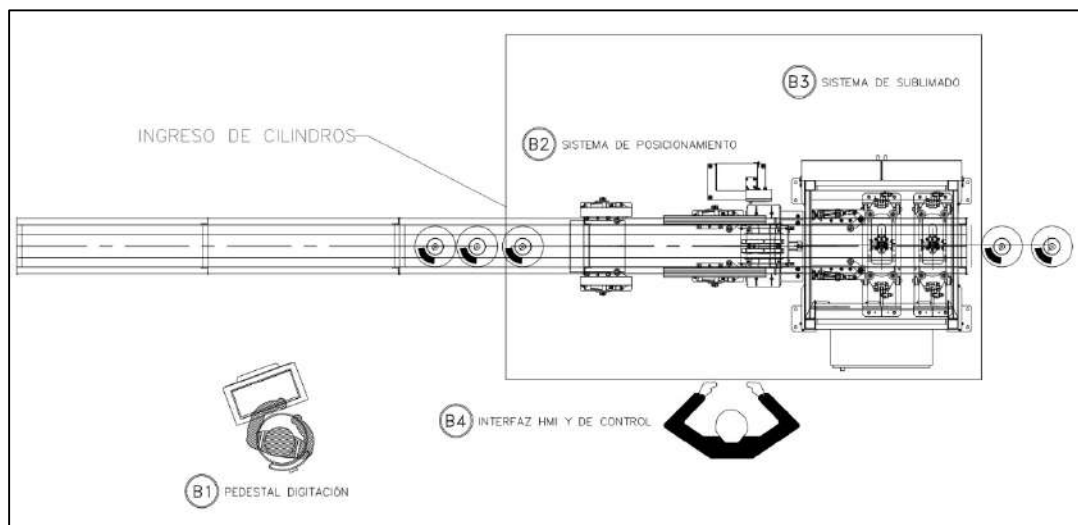
Para el dimensionamiento del sistema propuesto se deberá considerar cuatro etapas principales interconectados mediante un controlador lógico programable o PLC que permitirá realizar la integración tanto de la adquisición de datos mediante diferentes mecanismos de sensado, como la activación de los actuadores que permitirán la ejecución de las tareas individuales del sistema; operando secuencialmente sobre la línea de producción TRC o Makeup, estas etapas se han esquematizado según Figura 20 en el

software AutoCAD sobre el layout Anexo 1, de tal manera que permitan la identificación correcta de las etapas planteadas.

1. Sistema de digitación de tara de cilindro (B1); (Según requisito QFD cómo # 3) este mecanismo permitirá realizar el ingreso del dato ya sea mediante digitación o a través de un módulo de pesaje, estos datos serán cruciales para el sistema de impresión de taras.
2. Sistema posicionamiento y centrado de cilindro (B2); (Según requisito QFD Qué # 6) este mecanismo será el encargado de recibir el cilindro desde la línea de transportadores, mientras detiene el paso de los cilindros posteriores, ubicará el cilindro en una posición precisa para, ser rotado a través de un sistema de centrado rotacional y posteriormente permitir la impresión adecuada del logotipo y la tara.
3. Sistemas de sublimación (B3); (Según requisito QFD cómo # 6) aplica el logotipo y la tara de forma automatizada y secuencial mientras controla cada paso del proceso.
4. Interfaz HMI y de control (B4); (Según requisito QFD cómo # 5) este sistema permitirá al operario, parametrizar tiempos y secuencias, así como monitorear, cantidades producidas, fallas de sistema y demás aspectos importantes del sistema.

Figura 20

Esquema de etapas funcionales de sistema.

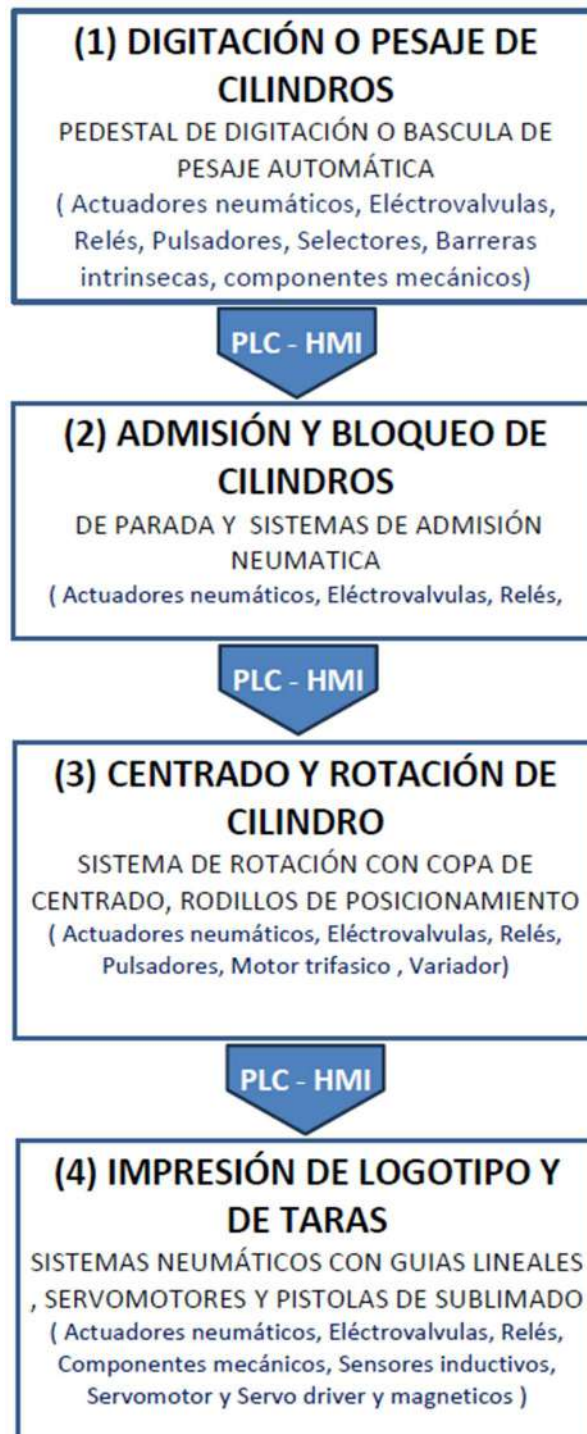


Nota. Elaboración propia.

Considerando el esquema de etapas funcionales los parámetros básicos de funcionamiento, Se elaboró un diagrama de flujo Figura 21, en este diagrama se muestra cada paso que debe cumplir el sistema, con el fin de imprimir las taras y logotipos en el cilindro de 15 Kg de manera precisa y segura mientras es controlado por un PLC y una interfaz HMI, estos elementos se encargan de unificar cada fase del proceso tanto para la ejecución de cada una de las tareas, como para consolidar los datos que permitirán dar la trazabilidad del mismo; el diagrama planteado también detalla la subrutina a ejecutarse en cada uno de ellas; los componentes y subcomponentes sean estos eléctricos (PLC, HMI, relés, variadores, servomotores, motores); neumáticos (actuadores lineales, válvulas, reguladores de flujo y presión); de monitoreo (sensores inductivos, magnéticos); mecánicos (componentes estructurales, ejes, sistemas rotulares y basculantes, guardas). estos elementos en conjunto deberán ser parte del ensamble del sistema y garantizar un funcionamiento unificado y el cumplimiento de los requerimientos del esquema QFD.

Figura 21

Diagrama de flujo operativo del sistema.



Nota. Estudio realizado por el investigador.

Análisis y definición de componentes mecánicos

Componentes mecánicos estructurales y de soporte

La estructura básica que deberá fungir como soporte y fijación de todos los elementos acoplados al sistema; motores, actuadores y elementos de centrado y posicionamiento del cilindro por lo que deberá componerse de cuatro columnas de; tubo cuadrado estructural 80x80x4 mm, tubo rectangular estructural 80x80x4 mm y ángulo 80x6 mm ASTM A500, ancladas entre sí mediante soldadura por arco metálico con gas (Gmaw), las características del material se describen en Tabla 9 y permitirán conocer el comportamiento y propiedades del material para el posterior diseño y cálculo de cargas estáticas.

Tabla 9

Características de material AISI 1015 estructura de sistema.

<i>Aceros negro estirando en frío bajo norma AISI 1015 / ASTM A500</i>		
Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2.05 e +11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Límite de tracción	385000000	N/m ²
Limite elástico	325000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.2 e -05	°K
Densidad de masa	7870	N/m ³

Como complemento a los elementos estructurales, en la Tabla 10 se detallan los elementos mecánicos secundarios que cumplen la función de soporte, transmisión y fijación, constituyéndose como la base para la integración de los mecanismos de sensado, actuadores y del funcionamiento general del equipo, estos elementos aseguran un comportamiento estructural óptimo frente a las cargas estáticas y dinámicas generadas por el movimiento de los actuadores y componentes rotativos, los coeficientes de expansión térmica y la densidad de los materiales permiten prever un desempeño estable frente a variaciones térmicas propias del entorno industrial.

El conjunto de estos elementos, que incluye ejes de acero inoxidable y acero al carbono, chumaceras de piso y pared, planchas estructurales, perfiles y barras de aluminio, así como elementos de fijación de alta resistencia fueron seleccionados para garantizar un ensamblaje robusto y preciso.

Tabla 10

Listado de materiales mecánicos de soporte y funcionamiento del sistema.

Ítem	Nombre artículo
1	Eje acero inoxidable AISI 304 diámetro 30mm
2	Eje acero AISI 1045 diametro 50mm
3	Plancha HN 8mm 1.22x2.44mt ASTM A36
4	Eje cromado \varnothing 20mm p/ vástago actuador neumático
5	Chumacera de piso - Siraga D200044
6	Chumacera de pared UCFL206, 30mm
7	Chumacera de pared UCF210, 50mm
8	Barra duralón diámetro 100mm
9	Perfil de aluminio p/bascula - D850179-21
10	Talón de aluminio 38x38mm - Siraga D850179-22
11	Barra aluminio macizo prodax, rectangular 200x100mm
12	Perno Allen c/cilíndrica M6x20mm G10.9, inoxidable
13	Perno c/hexagonal M10X30mm G10.9, inoxidable
14	Plancha HN 25mm ASTM a36

Bajo los parámetros del análisis realizado, se enlista en la Tabla 11 las características y criterios de selección de los materiales requeridos para el diseño de los componentes estructurales del sistema y posteriores simulaciones en el software de diseño Solid Works, desde el punto de vista constructivo los materiales seleccionados presentan excelente maquinabilidad, facilitando operaciones de torneado, fresado o taladrado así como buena soldabilidad, permitiendo la ejecución de operaciones confiables sin requerir procesos especiales, garantizando la factibilidad de fabricación, reducción de costos de producción y riesgos asociados al ensamblaje, con lo cual se refuerza la viabilidad técnica y económica del diseño propuesto.

Tabla 11
Características de materiales y criterios de selección.

Elemento	Material / Norma	Características relevantes
Eje Ø 30 mm	Acero inoxidable AISI 304	Alta resistencia a la corrosión, excelente resistencia mecánica
Eje Ø 50 mm	Acero al carbono AISI 1045	Alta resistencia mecánica, buena maquinabilidad, ideal para cargas dinámicas
Eje cromado Ø 20 mm	Acero cromado	Superficie endurecida, baja fricción, alta resistencia al desgaste
Plancha 8 mm	Acero ASTM A36	Buena soldabilidad, resistencia estructural adecuada, fácil mecanizado
Plancha 25 mm	Acero ASTM A36	Alta resistencia a cargas estáticas
Barra maciza	Aluminio	Bajo peso, buena resistencia mecánica, fácil mecanizado
Barra Ø 100 mm	Duralón	Bajo coeficiente de fricción, resistencia al desgaste

Análisis y definición de componentes eléctricos

Componentes eléctricos de control principal

La selección de los componentes eléctricos del sistema automático de impresión de taras y logotipos representa una etapa crítica del diseño, ya que de ella depende el correcto funcionamiento, seguridad y confiabilidad del proceso en el entorno industrial donde se implementará. Esta selección se realizará considerando las condiciones particulares de una planta envasadora de GLP previamente expuestas en el presente documento: atmósferas potencialmente explosivas, variaciones ambientales y exigencias normativas estrictas, obligando a priorizar los criterios de seguridad, compatibilidad y robustez de los dispositivos eléctricos.

La selección de sistemas de control, sensores, actuadores, dispositivos de mando, protecciones eléctricas y elementos de cableado se fundamentó en el cumplimiento de la normativa técnica vigente aplicable, así como en los requisitos eléctricos, que permitirán asegurar la confiabilidad, facilidad de integración, así como la compatibilidad con sistemas de automatización PLC y HMI.

Selección de PLC.

Uno de los elementos más importantes y críticos para el funcionamiento del proyecto y el control de los sistemas, es el PLC para el cual se deben considerar los alcances del proyecto ya que en función a estos alcances se puede definir su capacidad y funcionalidad en términos de entradas y salidas, así como voltajes de operación tomando en cuenta los criterios de seguridad intrínseca. El dimensionamiento del PLC se basa en los esquemas de funcionamiento previamente analizados, sin embargo, es necesario esquematizar los mecanismos involucrados en el proceso con el objetivo realizar un análisis general que permita conocer los sistemas de sensado y actuación electromecánica y electroneumática, teniendo estos conceptos claros se facilitara la selección del PLC y en consecución, la interfaz HMI.

En la Tabla 12 y Tabla 13 se ha realizado un detalle de los componentes que permitirán el funcionamiento ideal del sistema, estos componentes están divididos en entradas y salidas lo que permite dimensionar la cantidad de módulos de expansión, considerando que el PLC y pantalla HMI operara con 24 Vdc, dado que trabajaran con barreras intrínsecas, las cuales solo trabajan en rangos de 1 a 36 Vdc.

Tabla 12

Análisis de salidas digitales requeridas por el sistema.

Id	Código	Función	Dirección	Expansión	Voltaje
1	ACT NEU -1	Empuje de cilindros - pistón separador	QA0.3	-	12v
2	ACT NEU -2	Parada de ingreso a máquina	QA0.4	-	24v
3	ACT NEU -3	Centrado de cilindro	QA0.5	-	24v
4	ACT NEU -4	Bajada de copa	QA0.6	-	24v
5	ACT NEU -5	Acercamiento de logo	QA0.7	-	24v
6	ACT NEU -6	Acercamiento de tara	QB0.0	-	24v
7	ACT NEU -7	Movimiento horizontal de pistola	QB0.1	-	24v
8	ACT NEU -8	Sublimar logo	-	QA0.0	24v
9	ACT NEU -9	Sublimar tara	-	QA0.1	24v
10	ACT NEU -10	Paso de cilindro transportador a	-	QA0.2	24v
11	ACT NEU -11	Paso de cilindro transportador b	-	QA0.3	24V
12	MOT TRIF -1	Rotación de copa	-	-	24V

Tabla 13*Análisis de entradas digitales requeridas por el sistema.*

ID	DISPOSITIVO	CODIGO	FUNCIÓN	INSTRUMENTO	INPUT	
1	PLC	ENC-01	Enconder	Enconder	I A0.0	
2			absoluto		I A0.1	
3			toma de datos de salida de servo motor		I A0.2	
4				Pulsador NA1	I A0.3	
5				Pulsador NA 2	I A0.4	
6				Pulsador NA 3	I A0.5	
7				Pulsador NA 4	I A0.6	
8				Pulsador NA 5	I A0.7	
9				Pulsador NA 6	IB 0.0	
10			PDTL - 01	Pedestal de digitación -	Pulsador NA 7	IB 0.1
11		señales de		Pulsador NA 8	IB 0.2	
12		ingreso de		Pulsador NA 9	IB 0.3	
13		datos		Pulsador NA 0	IB 0.4	
14				Pulsador emergencia	IB 0.5	
15	EXPANSIÓN			Pulsador NA 10	I A0.0	
16					I A0.1	
17				Selector 2p	I A0.2	
18				Final de carrera	I A0.3	
19				Final de carrera	I A0.4	
20				Final de carrera	I A0.5	
21				Final de carrera	I A0.6	
22				Entradas digitales	Sensor magnético	I A0.7
23			IMP-TARAS	sistemas de	Sensor magnético	IB 0.0
24		impresión de		Sensor inductivo	IB 0.1	
25		taras y		Sensor magnético	IB 0.2	
26		logotipos		Sensor magnético	IB 0.3	
27				Sensor inductivo	IB 0.4	
28					IB 0.5	
29					Selector 2p	IB 0.6
30					IB 0.7	

En función a la cantidad de entradas y salidas digitales y al análisis de selección Tabla 14, se ha definido que el PLC a usarse es el Simatic s7-1200 cpu1214c 24vdc, siemens (6ES7214-1AG40-0XB0), cuya información técnica se detalla en Anexo 3, la selección del controlador se justifica por su arquitectura equilibrada, diseñada para

aplicaciones de automatización de gama media, su capacidad de memoria de 100 Kb asegura la ejecución fluida de algoritmos de control complejos, sus salidas tipo transistor habilitan funciones de control de movimiento (PWM/PTO) necesarias para el proyecto ya que se usaran señales rápidas para la selección de la tara, su puerto profinet garantiza una integración transparente con la HMI KTP900 y una escalabilidad futura de hasta 8 módulos de expansión. Cabe mencionar que la empresa cuenta con la licencia de TiaPortal (software de la marca siemens para la programación de PLC, sistemas SCADA y HMI), también tiene como estándar trabajar con controladores programables de la marca siemens.

Tabla 14
Matriz de selección para PLC.

	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D
Criterio de Selección	Logo! 8.3	CPU 1211C	CPU 1214C	CPU 1511
Memoria de Trabajo	Limitada	50 KB	100 KB	150 KB+
I/O Integradas	8 DI / 4 DQ	6 DI/4DQ/2 AI	14DI/10DQ/2AI	No integra
Velocidad	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Escalabilidad	solo módulos	Máx. 0 módulos	8 módulos	Alta
Costo/Beneficio	Excelente	Bueno	Óptimo	Muy Costoso
Resultado	Descartado	Descartado	Seleccionado	Descartado

Selección de Módulo de expansión.

Para la expansión del sistema de control se realizó el análisis mediante una matriz de selección Tabla 14, se optó por el módulo SIMATIC S7-1200 SM 1223 (6ES7223-1BL32-0XB0), la elección se fundamenta en su alta densidad de entradas y salidas (16DI/16DQ), permitiendo centralizar las señales en un solo bloque, dispone salidas de tipo transistor seleccionadas por su confiabilidad en procesos de conmutación que opera a 24V DC, la información técnica detallada se ubica en el Anexo 4.

Tabla 14*Matriz de selección para módulo de expansión.*

	Opción A	Opción B
Criterio	2x SM 1221/1222 (8 ptos)	SM 1223 (16DI/16DQ)
Código Siemens	6ES7221-1BF32 / 6ES7222-1BF32	6ES7223-1BL32-0XB0
Espacio en Riel DIN	90 mm (2 módulos)	70 mm (1 módulo)
Costo Relativo	Más alto (por dos carcasas)	Más bajo (óptimo)
Resultado	Descartado	Seleccionado

Selección de interfaz HMI.

Para la interfaz hombre máquina (HMI) , mediante el análisis realizado en la matriz de selección Tabla 15 , se definió la pantalla Siemens KTP900 Basic (6AV2123-2JB03-0AX0), esta elección se fundamenta en su panel TFT de 9 pulgadas, que ofrece un equilibrio óptimo entre visibilidad de procesos y costo de implementación, su resolución de 800 x 480 píxeles permite el despliegue de gráficas de tendencia, históricos, alarmas con alta nitidez mientras que su puerto profinet integrado garantiza una comunicación de alta velocidad con el controlador principal S7-1200, eliminando la necesidad de módulos de comunicación adicionales, la ficha técnica detallada se adjunta en el Anexo 5.

Tabla 15*Matriz de selección para la pantalla HMI.*

	Opción A	Opción B	Opción C
Criterio	KTP700 Basic (7")	KTP900 Basic (9")	TP900 Comfort (9")
Resolución	800 x 480	800 x 480	800 x 480
Visualización	Limitada	Óptima para P&ID	Óptima
Costo	Bajo	Medio (Equilibrado)	Alto
Funciones	Básicas	Básicas (Suficientes)	Scripts, Auditoría, Multimedia
Resultado	Descartado por tamaño	Seleccionado	Descartado por presupuesto

Una vez que se han establecido los elementos base que fungirán como principales mecanismos de control de la máquina automática de marcación de taras y logotipos, cuyo listado se describe en la Tabla 15, se deberá analizar los demás elementos de protección,

comunicación y control secundario que se unificarán y conectarán a los sistemas principales, mediante conexiones Ethernet, o conexión directa con cable de control.

Tabla 15

Principales elementos eléctricos para control y automatización de proceso.

Nombre artículo
HMI touch KTP900 9.0" 800x480 pixels, Siemens 6AV2123-2JB03-0A
PLC Simatic S7-1200 CPU1214C 24VDC, Siemens 6ES7214-1AG40-0XB0
Módulo de expansión SM1223 Siemens 6ES7223-1BL32-0XB0

Relés de control

El uso de relés de tipo mecánico es común para la activación de actuadores como electroválvulas, bobinas solenoides, luces piloto, entre otros, es común ya que aísla los circuitos de control principal de los circuitos de potencia protegiendo al PLC y permite trabajar como amplificador de señales. Para el diseño del proyecto se ha seleccionado el relé y base Schneider Electric RXG12BD (relé) y RGZE1S35M (Base de relé), en función al análisis de la Tabla 16, tomando como principal parámetro el aislamiento galvánico esencial entre las salidas del PLC y los actuadores finales, considerando que estos pueden sufrir daños electromecánicos, sin que se afecte la integridad de PLC o Interface HMI y demás actuadores, también se ha considerado el factor de seguridad obtenido en la resolución de la ecuación (7), el cual es muy importante considerando la cantidad de ciclos de trabajo a los que va a estar sometido.

Tabla 16

Matriz de selección de relés de control.

	Opción A	Opción B	Opción C
Criterio	Relé de genérico	Relé de Estado Sólido	Relé Schneider RXG
Fiabilidad de Marca	Baja	Alta	Muy Alta
Indicador LED	No siempre	Sí	Sí
Facilidad de Reemplazo	Soldado o difícil	Atornillado	Enchufable con Socket
Botón de Prueba	No	No	Sí
Costo-Beneficio	Económico	Alto	Equilibrado
Resultado	Descartado por confiabilidad	Descartado por costo	Seleccionado

$$Margen = \frac{I_{Rele}}{I_{Carga}} = \frac{10 A}{2 A} 5 (\text{Factor de seguridad del } 500\%) \quad (7)$$

Switch de comunicación IP - Ethernet.

Para la gestión de la comunicación PLC y HMI se seleccionó el conmutador Ethernet Schneider Electric modelo TCSESU033FN0, la elección se fundamenta en la matriz Tabla 17, su diseño compacto de tres puertos es ideal para la interconexión del PLC S7-1200 con la interfaz HMI KTP900 y la comunicación PLC a PC – HMI a PC, este equipo está diseñado para ambientes con alto ruido electromagnético y ambientes industriales exigentes a un costo muy conveniente , sobre todo cuando está cerca de variadores de frecuencia o servomotores cuyo funcionamiento inyecta ruido eléctrico a la red.

Tabla 17

Matriz de selección Schneider Electric TCSESU033FN0.

	Opción A	Opción B	Opción C
Criterio	Siemens	Autonics	Schneider
Protección IP y Temperatura	Alta	Baja	Alta
Montaje en Riel DIN	Si	Si	Si
Certificaciones Industriales	Listed UL	No	Listed UL
Costo (3 puertos)	Muy alto	Medio	Medio
Resultado	Rechazado	Rechazado	Seleccionado

Componentes eléctricos de protección y distribución

De acuerdo a la guía de diseño de instalaciones eléctricas según la norma IEC 60364 (Schneider Electric, 2023), la industria de la automatización y control industrial los fusibles cerámicos contenidos en portafusibles son de uso común debido a la facilidad para el seccionamiento del circuito y principalmente debido a su capacidad de limitar energía de circulación, de acuerdo con la integral de Joule (8), esta fórmula también permite determinar el daño térmico que puede sufrir un circuito eléctrico en función al

tiempo de ruptura y la cantidad de corriente pico a la que se expuso. El fusible funde su elemento interno antes de que un cortocircuito o corriente elevada alcancen valores pico provocando daños graves a los sistemas de control como PLC, HMI o Switch de comunicación, la velocidad de respuesta de un fusible es inversamente proporcional a la magnitud de la corriente que circula por su elemento cuya empleamos la Integral de Joule de la energía pasante.

$$(I^2t) = \int_0^{tc} i(t)^2 dt \quad (8)$$

Donde:

- $i(t)^2$: Corriente instantánea de falla en función del tiempo.
- tc : Tiempo total de despeje de la suma del tiempo de pre-arco y el tiempo de arco.
- (I^2t) : Energía térmica en $A^2 s$ que el fusible "deja pasar" hacia el equipo.

Porta fusible y fusible cerámico.

Para efectos del proyecto se ha seleccionado el porta fusible Schneider Acti9 2x38 (A9N15649), esta selección fue realizada mediante la aplicación de una matriz de selección Tabla 19, los datos técnicos se detallan en ; para el fusible se ha considerado la suma de los consumos eléctricos de los equipos de control principal según Tabla 18, dado que es un elemento de protección muy importante para evitar daños en el sistema de control, el fusible cerámico será de 2amp, elemento sumamente importante para la protección de los sistemas de control principal.

Tabla 18

Consumos eléctricos de componentes de control principal.

Equipo	Voltaje	Corriente nominal	Corriente máx
PLC	24 VDC	500 mA	1500 mA (incl. salidas)
Módulo de Expansión	24 VDC	145 mA	180 mA
Interfaz HMI	24 VDC	230 mA	500 mA
Total	24 VDC	875 mA	2180 mA (2.18 A)

Ante un escenario de corto circuito o corriente elevada, considerando que el fusible tiene un coeficiente de energía pasante de $1.5A^2 s$ según el fabricante y que la fuente de energía a usar dispone de una corriente nominal de 10 Amp, se deberá calcular el tiempo de desconexión del fusible mediante el uso del modelo matemático de Jule ((9). Si el sistema experimenta una falla donde la corriente sube a 10 Amp considerando las características del circuito, se tendrá un tiempo de corte de 15 milisegundos (10), evitando fallas catastróficas en los sistemas de control principal. El, siendo esta la propuesta más adecuada en términos de costo beneficio.

$$Energia\ pasante = (I^2t) = K \quad (9)$$

Donde:

- I : Corriente de cortocircuito o falla (A).
- t : Tiempo de desconexión o corte (s).
- k : Valor nominal del (I^2t) del fusible especificado por el fabricante.

$$1.5 = (10^2t) = K$$

$$t = \frac{1.5}{100} = K \quad (10)$$

$$t = 0.015ms$$

Tabla 19

Matriz de selección de porta fusible Schneider Acti9 2x38 (A9N15649).

	Opción A	Opción B	Opción C
Criterio	Fusible Siemens	Breaker	Schneider Acti9 STI
Nivel de protección	Bajo	Medio	Alto
Coefficiente K	1.5	2.4	1.5
Seguridad	Alta	Alta	Alta
Mantenimiento	Fácil	No requiere	Fácil
Costo	Alto	Medio	Medio
Resultado	Rechazado	Rechazado	Seleccionado

Breaker tripolar.

Para la protección de las etapas de potencia, mientras se garantiza el correcto accionamiento de motores, se seleccionó un interruptor automático o Breaker 3P Schneider Acti9 iC60L 12,5 Amp con curva de disparo MA según (Schneider Electric, 2023), la curva MA es esencial en aplicaciones motoras para proporcionar una protección magnética instantánea sin interferir con las corrientes de inserción típicas del arranque del motor al vencer la curva de inercia, el equipo cuenta con una capacidad de ruptura de 20 k Amp bajo la norma IEC 60947-2, que asegura que el sistema pueda despejar fallas críticas de cortocircuito en milisegundos, supeditada a la integral de Joule (I^2t) energía pasante (9). La selección de un breaker o seccionador magnetotérmico de 12.5 Amp obedece al criterio de la suma de las cargas eléctricas de control: PLC, HMI, comunicación, comando, electroválvulas y sensores; así como sistemas de fuerza: motor trifásico y servo motor.

$$\text{Consumo eléctrico etapa de control principal (} I_{cp} \text{)} = 2 \text{ Amp}$$

$$\text{Consumo eléctrico etapa de control secundaria (} I_{cs} \text{)} = 2 \text{ Amp}$$

$$\text{Consumo eléctrico etapa de fuerza (} I_f \text{)} = 7.75 \text{ Amp}$$

(11)

$$I_{cp} + I_{cs} + I_f = 2 \text{ Amp} + 2 \text{ Amp} + 7.75 \text{ Amp} = \mathbf{11.5 \text{ Amp}}$$

El valor resultante de la suma de las cargas eléctricas globales de la máquina es de aproximadamente 11.5 Amp (11), determinando que el terminal de protección magnetotérmica más adecuado deberá ser el inmediato superior, no se considera un elemento de valor nominal por debajo de la corriente total debido al arranque de motores dado que estos consumen corrientes más altas en la rampa de arranque producto de la

inercia mecánica. La elección de la marca y modelo del equipo se realizó en función a la aplicación a la matriz de selección de Tabla 20 .

Tabla 20

Matriz de selección de Breaker 3P Schneider Acti9 iC60L 12.5 Amp.

	Opción A	Opción B
Criterio	Acti9 iC60L (Curva MA) Shneider	Interruptor Estándar (Curva C)
Protección de Motores	Excelente (Sin disparo en arranque)	Regular (Riesgo de disparo)
Poder de Corte	20 kA (Alta seguridad)	6 - 10 kA (Limitado)
Robustez (IEC 60947-2)	Cumple (Grado Industrial)	Cumple solo IEC 60898
Selectividad	Alta con fusibles STI	Media
Resultado	Seleccionado	Rechazado

Fuente de poder 12 - 24vdc intrínsecamente segura.

En función de los requerimientos eléctricos del sistema, detallados previamente en la Tabla 8, se determinó la necesidad de contar con niveles de tensión continua de 12 y 24 Vdc, destinados a la alimentación del PLC, sensores, actuadores, módulos de comunicación e instrumentación, el sistema también debe operar bajo las condiciones propias de una planta de envasado de GLP, es decir equipos certificados para atmósferas explosivas clase 1 división 1 y 2, tomando en cuenta estos criterios y el análisis de la Tabla 21, se seleccionaron las fuentes de alimentación TRACO POWER serie TEX, 120-112 / 120-124, las cuales suministran tensiones nominales de 12 y 24 VDC, con potencias máximas de 120 W , cubriendo la demanda energética del sistema según Anexo 6.

Tabla 21*Matriz de selección de fuente Traco Power - tex 120-112 /124.*

	Opción A	Opción B	Opción C
Criterio	Siemens SITOP PSU8200	Phoenix Contact QUINT	TRACO POWER TEX 120-112 / 124
Potencia nominal	120 W	100–120 W	96–120 W
Tensión de salida	24 VDC	24 VDC	12 / 24 VDC
Corriente máxima	5:00 a. m.	4–5 A	8 A / 5 A
Grado de protección	IP20	IP20	IP67 / NEMA 4X
Certificación ATEX	No	No	Sí – Zona 2
Rango de temperatura	-25 a +70 °C	-25 a +70 °C	-40 a +85 °C
Ruido eléctrico	< 100 mVp-p	< 100 mVp-p	< 50 mVp-p
MTBF	~600 000 h	~500 000 h	> 900 000 h
Montaje en exterior	No	No	Sí
Atmósferas explosivas	Media	Media	Alta idoneidad
Costo relativo	Alto	Alto	Medio–Alto
Resultado	Rechazado	Rechazado	Seleccionado

Borneras de distribución de energía de control y potencia

Las borneras de conexión constituyen un elemento de gran importancia en el diseño del sistema eléctrico ya que permiten la interconexión segura, bajo estos criterios y con el uso de la matriz de selección Tabla 22, se seleccionaron las borneras Weidmüller serie ZDU, modelos 1.5 y 2.5, destinadas a circuitos de control y potencia respectivamente. La bornera ZDU 1.5 está diseñada para conductores de hasta 1,5 mm², siendo adecuada para circuitos de señal, instrumentación y control, tales como entradas y salidas digitales del PLC, sensores inductivos, finales de carrera y señales de comunicación, mientras que la bornera ZDU 2.5 está diseñada para conductores de hasta 2,5 mm², permitiendo su utilización en circuitos de alimentación eléctrica, de actuadores, válvulas solenoides, relés y módulos auxiliares del sistema, al tener mayor capacidad de conducción de corriente permite reducir caídas de tensión y evitar sobrecalentamientos en los puntos de conexión, estas características permiten cumplir con los requerimientos

de seguridad y confiabilidad exigidos por normativas como (National Fire Protection Association, 2023) NFPA 70 y (National Fire Protection Association, 2024) NFPA 79 para tableros de control industrial.

Tabla 22

Matriz de selección de borneras Weidmüller serie ZDU, modelos 1.5 y 2.5.

	Opción A	Opción B	Opción C
Criterio	WAGO TOPJOB S	Phoenix Contact	Weidmüller ZDU
	2002 / 2004	UT 1.5 / 2.5	1.5 / 2.5
Sección de conductor	1.5 / 2.5 mm ²	1.5 / 2.5 mm ²	1.5 / 2.5 mm ²
Tipo de conexión	Resorte (Push-in)	Tornillo	Resorte (Push-in)
Corriente nominal	18 A / 24 A	17.5 A / 24 A	17.5 A / 24 A
Tensión nominal	800 V	800 V	800 V
Resistencia a vibraciones	Muy alta	Alta	Alta
Material del cuerpo	Poliamida	Poliamida	Poliamida
Certificaciones	IEC, UL, CSA	IEC, UL, CSA	IEC, UL, CSA
Aplicación industrial	Control y potencia	Control y potencia	Control y potencia
Costo relativo	Alto	Medio–Alto	Medio
Resultado	Rechazado	Rechazado	Seleccionado

Componentes eléctricos de mando y sensado

Sensores magnéticos

El sensor magnético AIRTAC CS1-E X030 fue seleccionado para la detección de posición de actuadores neumáticos dadas sus prestaciones y costo beneficio, este mecanismo permitirá confirmar el estado extendido o retraído del actuador neumático, ya que cuenta con detección del imán interno del pistón asegura una señal confiable, sin contacto mecánico, reduciendo desgaste y mantenimiento. Su diseño compacto, compatibilidad con ranura estándar de cilindros neumáticos y alimentación en corriente continua lo hacen adecuado para sistemas de automatización industrial con PLC, garantizando repetibilidad y confiabilidad en ambientes industriales.

Sensores Inductivos

El sensor inductivo Autonics PR12-4DN fue seleccionado para la detección de objetos metálicos sin contacto físico, asegurando alta confiabilidad y larga vida útil. Su configuración NPN, facilita la integración con entradas digitales del PLC, su diseño permite mayor distancia de detección, siendo adecuado para aplicaciones industriales donde se requiere robustez y rapidez de respuesta sin incurrir en costos elevados y manteniendo la calidad de este.

Selectores

El selector Schneider electric XB4BD33 fue seleccionado para permitir la selección manual de modos de operación del sistema; manual, automático y mantenimiento. Su diseño robusto y estándar de 22 mm facilita su integración en el panel de control y garantiza durabilidad en ambientes industriales.

Pulsadores.

El pulsador Schneider Electric XB4BA31 fue seleccionado para la función de ingreso de datos de tara al sistema, su color verde cumple con la codificación normalizada para funciones de ingreso de señales, facilitando la operación intuitiva del sistema por parte del operario, su diseño metálico y su alta confiabilidad mecánica lo hacen adecuado para uso continuo en tableros industriales asegurando confiabilidad y durabilidad.

Paros de emergencia.

El pulsador de emergencia XB4BS8442 fue seleccionado para garantizar la parada inmediata del sistema ante condiciones de riesgo, cumpliendo funciones críticas de seguridad, su accionamiento de tipo girar halar evita rearme accidental, incrementando la seguridad operativa, el elemento presenta una construcción metálica de alta visibilidad y compatibilidad con normas industriales lo hacen adecuado para tableros de control en

entornos industriales exigentes. La matriz en la que se evaluaron los criterios de selección mediante comparativas con otras marcas se detalla en la Tabla 22.

Tabla 23

Matriz de selección de elementos de mando y sensado.

Opción A			
Dispositivo	Modelo	Marca	Costo
Sensor magnético	CS1-E X030	Airtac	Bajo
Pulsador de emergencia	XB4BS8442	Schneider Electric	Medio
Sensor inductivo	PR12-4DN	Autonics	Medio
Selector 3 posiciones	XB4BD33	Schneider Electric	Medio
Pulsador de marcha	XB4BA31	Schneider Electric	Medio
Resultado		Seleccionada	
Opción B			
Dispositivo	Modelo	Marca	Costo
Sensor magnético	SMT-8M	Festo	Alto
Pulsador de emergencia	M22-PV	Eaton	Medio
Sensor inductivo	E2E-X2D1-N	Omron	Alto
Selector 3 posiciones	M22-WRS3	Eaton	Medio
Pulsador de marcha	M22-D-G	Eaton	Medio
Resultado		Rechazada	

Componentes eléctricos de Control de actuadores.

Selección de motor trifásico y transmisión mecánica.

El diseño del sistema automatizado requiere un motor eléctrico trifásico que proporcione potencia y torque adecuados ejecutar la rotación del cilindro hasta posicionarlo correctamente para la impresión de taras y logotipos, se consideraron como parámetros técnicos, la compatibilidad con la red eléctrica disponible, características ATEX para atmosferas explosivas y eficiencia energética.

Se seleccionó un motor trifásico de bridado de 1.5 HP 220 VAC – 1780 rpm, frame 90 de la marca WEG, dado que cumple con los requerimientos de potencia, torque y características para atmosferas clasificadas, además de la integración con accionamientos eléctricos como variadores y arrancadores. En cuanto a la transmisión de potencia se realiza mediante una caja reductora sinfin corona marca Weg Frame 90 con una relación de reducción de reducción de 7.5 salida de 240 rpm acoplada directamente

al eje del motor mediante conexión con brida, esta configuración proporciona relaciones de reducción elevadas en un volumen compacto, facilitando el incremento de torque útil a la salida mecánica mientras se genera un arranque suave del sistema sin necesidad de mecanismos adicionales de control de velocidad, la selección del motor trifásico y caja reductora se realizó con base en la , misma que permite la comparación con opciones del mercado .

Tabla 24

Matriz de selección de motorreductor WEG 1.5 HP 1750 Rpm 220v i7.5.

	Opción A	Marca B	Costo C
Dispositivo	WEG 1.5 HP 220 VAC / Reductor WEG	Siemens 1.5 HP 220 VAC /Reductor Siemens	Baldor 1.5 HP 220 VAC / Reductor Industrial
Potencia nominal	1.5 HP	1.5 HP	1.5 HP
Tensión	220 VAC	220 VAC	220 VAC
Eficiencia energética	Alta	Alta	Media–Alta
Torque de salida (con reductor)	Alto	Alto	Medio–Alto
Confiabledad	Muy Alta	Muy Alta	Alta
Disponibilidad de repuestos	Excelente	Excelente	Buena
Integración mecánica	Directa (acople WEG)	Directa	Requiere ajustes
Soporte técnico global	Fuerte	Muy fuerte	Moderado
Costo relativo	Medio–Alto	Alto	Medio
Mantenimiento	Bajo	Bajo	Medio
Resultado	Seleccionada	Rechazada	Rechazada

Variador.

Para el control de velocidad o variador del motor encargado de la rotación y posicionamiento de cilindro previamente a la sublimación de taras, se seleccionó mediante análisis de matriz de selección Tabla 25, el convertidor de frecuencia WEG CFW300 (6AV2123-2JB03-0A) cuya ficha técnica y manual se encuentra en el Anexo 7, su capacidad de corriente de 7.3A ofrece un margen de seguridad del 29% respecto a la corriente nominal del motor, aspecto necesario para el correcto funcionamiento; su diseño compacto y principalmente la inclusión de la función de frenado rápido lo convierten en

el controlador más adecuado ya que facilita la comunicación con el PLC Siemens S7-1200 mediante protocolos industriales estándar y un control preciso del motor necesario para la aplicación que se pretende diseñar.

Tabla 25

Matriz de selección de variador WEG CFW300 (6AV2123-2JB03-0A).

	Opción A	Opción B	Opción C
Criterio	Siemens V20	Schneider ATV	WEG CFW300
Costo beneficio	Medio	Medio	Alto
Integración a PLC	Modbus RTU	Digital	Modbus RTU-Dig
Ahorro espacio	Bajo	Medio	Alto
Programación	Compleja	Regular	Amigable con usuario
Resultado	Rechazado	Rechazado	Seleccionado

Servo controlador.

Para la automatización del sistema de marcación de taras se requiere un mecanismo de posicionamiento angular preciso, que permita garantizar la correcta alineación del disco de marcación con cada cilindro antes del proceso de impresión, por estas razones se seleccionó mediante el análisis expuesto en la Tabla 26, un sistema de posicionamiento compuesto por un servomotor XINJE modelo MS6H con caja reductora integrada y un servo controlador XINJE serie DS5F, cuya información técnica y manual de usuario se detalla en Anexo 8. Ambos equipos diseñados para trabajar de forma conjunta y optimizada, esta combinación permite el control preciso de posición, velocidad y torque mediante un lazo de control cerrado mediante un encoder, garantizando alta exactitud y repetitividad en cada operación.

El servomotor seleccionado cuenta con una potencia nominal de 0,2 kW, una velocidad nominal de 3600 rpm y un torque nominal de 0,637 Nm, integrando una caja reductora con una relación de reducción de 10:1, este sistema se unirá a un servo controlador XINJE DS5F, con alimentación de 220 VAC y potencia de 0,2 kW. Esta integración facilita la sincronización del sistema de posicionamiento con el resto del

proceso automatizado, reduciendo la complejidad del software de control y mejorando la confiabilidad.

Tabla 26

Matriz de selección de Servo controlador XINJE MS6H - XINJE DS5.

	Opción A	Opción B	Opción C
Criterio	Delta	Siemens	XINJE
Potencia nominal	0.2 kW	0.2 kW	0.2 kW
Tipo de control	Posición	Posición	Posición
	Velocidad	Velocidad	Velocidad
	Torque	Torque	Torque
Encoder	Incremental	Absoluto	Incremental
Integración controladora	Nativa	Nativa	Nativa (misma marca)
Facilidad de operación	Alta	Media	Alta
Compatibilidad	Alta	Media	Alta
Precisión	Alta	Muy alta	Alta
Disponibilidad	Alta	Media	Alta
Soporte técnico	Alto	Muy alto	Bueno
Costo relativo	Medio	Alto	Bajo–Medio
Adecuación al proyecto	Viable	Sobredimensionado	Óptima
Resultado	Rechazado	Rechazado	Seleccionado

Electroválvulas solenoides.

El sistema requiere un control con actuadores neumáticos encargados de ejecutar movimientos lineales repetitivos, el uso de válvulas solenoides neumáticas constituye una solución ampliamente utilizada debido a su rapidez de respuesta, confiabilidad y facilidad de integración con sistemas de control eléctricos basados en PLC, en función a estos requerimientos se seleccionó la válvula solenoide AIRTAC modelo 4V210-08-B-T, de configuración 5/2 vías, conexión 1/4" NPT 24 VDC según el análisis de selección de Tabla 27. La válvula ofrece una relación costo beneficio optima, manteniendo un desempeño confiable, tiempos de conmutación adecuados y una construcción robusta para entornos industriales, Además de excelente disponibilidad local de repuestos, lo que constituyen ventajas importantes desde el punto de vista de operación y la funcionalidad del sistema.

Tabla 27*Matriz de selección de electroválvula 5/2 AIRTAC 4V210-08-B-T 1/4" NPT.*

	Opción A	Marca B	Costo C
Criterio técnico	FESTO	SMC	AIRTAC 4V210-08-B-T
Tipo de válvula	5/2 vías	5/2 vías	5/2 vías
Tensión de bobina	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Calidad	Muy alta	Muy alta	Alta
Disponibilidad local	Baja	Alta	Alta
Costo	Muy alto	Medio	Bajo
Resultado	Rechazada	Rechazada	Seleccionada

Otros componentes eléctricos**Gabinetes modulares para ensamble de elementos.**

El proyecto requiere alojar y proteger de manera segura los componentes eléctricos encargados del control y potencia del sistema, por lo que es necesaria la selección de gabinetes eléctricos que garanticen una adecuada protección mecánica y ambiental, además de facilitar el montaje ordenado y el mantenimiento del sistema en función a la Tabla 28, se seleccionaron dos gabinetes eléctricos modulares de distintas dimensiones: Gabinete I-0320-1 GSP-806030/C (800×600×300 mm) para los sistemas de control eléctrico y Gabinete I-0317 GSP-604020/C (600×400×200 mm) para los sistemas de control neumático, ambos elementos de la marca beaucoup.

Tabla 28*Matriz de selección de gabinetes I-0320-1 y I-0317 Beaucoup.*

	Opción A	Opción B	Opción C
Criterio técnico	Hoffman	Schneider Electric	Beaucoup
Tipo de gabinete	Modular metálico	Modular metálico	Modular metálico
Aplicación típica	Automatización industrial	Automatización industrial	Automatización industrial
Robustez estructural	Muy alta	Alta	Alta
Facilidad de montaje	Muy alta	Alta	Alta
Protección ambiental	Muy alta	Alta	Industrial estándar
Disponibilidad local	Media	Media	Alta
Costo	Alto	Alto	Bajo
Resultado	Rechazada	Rechazada	Seleccionada

Canaletas, riel din, cableado y accesorios.

El diseño del sistema eléctrico requiere elementos auxiliares según Tabla 29, encargados de garantizar un montaje ordenado, seguro y confiable del cableado y de los dispositivos eléctricos. En este contexto, se seleccionaron canaletas ranuradas, riel DIN y conductores eléctricos adecuados para asegurar el cumplimiento de los criterios de seguridad, mantenibilidad y confiabilidad del sistema.

Tabla 29

Listado de materiales eléctricos auxiliares.

Ítem	Nombre artículo
1	Canaleta ranurada 40x40 Dexon
2	Riel din 35mm perforada
3	Cable control multi conductor 4x20 AWG 600v XLPE/XL - CPE
4	Cable flexible AWG 14 600v XLPE/ XL - CPE

- Canaleta ranurada y riel DIN

La canaleta ranurada de 40×40 Dexon mm y Riel DIN perforada permitirán la organización y distribución interna del cableado y el anclaje de los componentes eléctricos dentro de los gabinetes, este tipo de elementos permiten una disposición ordenada de los conductores y componentes, al mismo tiempo que facilita el armado de los sistemas, la identificación y la separación entre elementos y cableado de control y de potencia.

- Cable de control y potencia

Para el cableado de señales de control y de potencia se seleccionó el cable multi conductor 4 × 20 AWG y cable flexible calibre AWG 14, ambos con aislamiento XLPE/XL-CPE y tensión nominal de 600 V, este tipo de cableado resulta adecuado para la transmisión de señales eléctricas en sistemas industriales ya que su composición proporciona buena resistencia térmica y mecánica, estos conductores fueron seleccionados en función a la suma de las cargas eléctricas de los circuitos de control y

potencia. La combinación de cableado de control multi conductor y cable flexible de potencia permite separar los circuitos de control y de potencia, reduciendo interferencias electromagnéticas y mejorando la confiabilidad del sistema.

Análisis y definición de componentes neumáticos

El sistema propuesto requiere la incorporación de elementos neumáticos para los movimientos lineales, accionamientos auxiliares y sistemas de aplicación de pintura debido a sus costos y facilidades de diseño, además de sus características como: facilidad de control, seguridad intrínseca frente a atmósferas potencialmente explosivas dado que no generar chispas ni calor durante su operación.

La selección de cada componente se fundamentó en el análisis de variables técnicas tales como fuerza requerida, carrera útil, velocidad de operación, presión de trabajo, compatibilidad dimensional, estandarización ISO/VDMA, disponibilidad comercial a nivel local y facilidad de integración con sistemas de control eléctrico mediante las electroválvulas solenoides previamente seleccionadas.

Actuadores neumáticos.

Los actuadores neumáticos constituyen elementos fundamentales dentro del diseño del sistema, ya que son responsables de la generación de movimiento lineal útil para: sujeción, desplazamiento y accionamiento de elementos mecánicos, la selección de estos actuadores se realizó considerando los criterios de la Tabla 30, en donde se analizó las marcas competidoras. Los actuadores seleccionados corresponden a cilindros neumáticos AIRTAC estandarizados bajo la norma ISO/VDMA según información técnica de Anexo 9, en diámetros Ø32, Ø50 y Ø63 mm, el dimensionamiento de los actuadores se realizó a partir del cálculo de fuerza neumática, empleando la expresión:

$$F = P \cdot A \quad (12)$$

Donde:

- F : Fuerza generada en Newtons.
- P : Presión de trabajo expresada en Pascales.
- A : Área efectiva del pistón en m^2 .

Considerando una presión de operación estándar de **100 psi**, se garantiza que los actuadores seleccionados superan las fuerzas requeridas para vencer cargas estáticas, rozamientos y factores dinámicos, considerando un factor de seguridad aproximado de 1,5 acorde a recomendaciones normalizadas para el diseño neumático industrial.

Tabla 30

Matriz de selección de actuadores neumáticos.

	Opción A	Opción B	Opción C
Criterio	FESTO	SMC	AIRTAC
Cumplimiento norma ISO/VDMA	Si	Si	Si
Disponibilidad de diámetros y carreras	Alta	Alta	Alta
Fuerza generada a 100 Psi	Alta	Alta	Alta
Calidad	Muy alta	Muy alta	Alta
Facilidad de montaje y alineación	Media	Media	Alta
Disponibilidad local de repuestos	Baja	Media	Alta
Facilidad de mantenimiento	Baja	Media	Alta
Costo	Muy alto	Alto	Bajo
Resultado	Rechazado	Rechazado	Seleccionado

Los actuadores neumáticos seleccionados AIRTAC cumplen plenamente con los requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, permitiendo generar la fuerza suficientes para el desplazamiento de mecanismos de impresión, guías lineales y elementos de sujeción, manteniendo una operación estable, AIRTAC ofrece un equilibrio óptimo entre desempeño técnico, confiabilidad y costo, además de una alta disponibilidad local de repuestos, lo cual reduce tiempos de parada y tareas de mantenimiento. El actuador neumático REGO A3209PA complementa el sistema al permitir funciones específicas de accionamiento, integrándose de manera compatible con el resto de la arquitectura neumática descrita en la Tabla 31.

Tabla 31*Listado de actuadores neumáticos.*

Ítem	Nombre de artículo
1	Actuador neumático ø50-c200 doble efecto ISO/VDMA (Airtac)
2	Actuador neumático ø63-c80 doble efecto ISO/VDMA (Airtac)
3	Actuador neumático ø63-c100 doble efecto ISO/VDMA (Airtac)
4	Actuador neumático ø32-c250 doble efecto ISO/VDMA (Airtac)
5	Actuador neumático rego a3209pa doble efecto retorno resorte ISO/VDMA

Sistemas neumáticos de sublimado.

El sistema de sublimación de pintura para la impresión de taras y logotipo requiere componentes neumáticos capaces de garantizar uniformidad y control preciso del caudal y de presión de la pintura asegurando una aplicación uniforme y de calidad, esto permite asegurar la legibilidad y calidad exigida por las normativas aplicables, en este contexto la selección de la pistola de pintura, el sistema de alimentación y el recipiente de presión se realizó considerando criterios técnicos relacionados con calidad de atomización, estabilidad de presión, ergonomía, seguridad y compatibilidad con entornos industriales. Los elementos seleccionados corresponden a la pistola de pintura SAGOLA Mini V, que incluye el kit de mangueras MA-145 y el recipiente de presión de 10 litros modelo 610 según información de Anexo 10, los cuales conforman un sistema integrado que permite una alimentación constante de pintura líquida, estos sistemas permiten la integración con sistemas automáticos y reducen de variaciones en el espesor del recubrimiento y disminución de reprocesos asociados a aplicaciones irregulares causadas por operaciones manuales, el listado de elementos se detalla en Anexo 10.

Tabla 32*Matriz de selección de sistemas de sublimado.*

	Opción A	Opción B	Opción C
Criterio	Sagola 610	Graco	Wagner
Capacidad adecuada 10 Lt	10 Lt	5 Lt	5 Lt
Estabilidad de presión	Alta	Media	Ala
Continuidad de suministro	Alta	Media	Alta
Facilidad de limpieza	Alta	Baja	Baja
Disponibilidad local	Alta	Media	Media
Costo	Medio	Alto	Muy alto
Resultado	Seleccionada	Rechazada	Rechazada
Criterio	Sagola MA-145	Genéricas	-
Compatibilidad con pistola	Muy alta	Media	-
Estanqueidad	Muy alta	Media	-
Seguridad en presión	Alta	Media	-
Facilidad de instalación	Alta	Media	-
Costo	Medio	Bajo	-
Resultado	Seleccionada	rechazada	-

Tabla 33*Listado de materiales neumáticos para sublimado de pintura.*

Ítem	Nombre artículo
1	Pistola de pintura mini V - Sagola 10210203
2	Kit mangueras pistola pintura mini V - Sagola MA-145
3	Recipiente de presión 10lt modelo 610 -Sagola 40000273

Otros componentes neumáticos.

Los materiales neumáticos auxiliares cumplen una función crítica dentro del sistema automático de impresión de taras y logotipos, ya que garantizan la correcta distribución del aire comprimido, la estabilidad del movimiento, la regulación precisa de velocidad, presión y fuerza; también la integración mecánica de los actuadores y guías lineales mediante los acoplamientos o bridas prediseñados, estos elementos no generan movimiento directo sin embargo son parte importante del diseño neumático en su conjunto, la selección se realizó considerando criterios técnicos como compatibilidad con actuadores, resistencia mecánica, calidad, disponibilidad local y costos.

Un parámetro que es predominante a la hora de seleccionar los elementos es el costo beneficio , en la industria costo calidad , en este sentido y considerando la facilidad

de integración de los elementos de una marca , se ha seleccionado Airtac como marca de los elementos auxiliares que conformar el conjunto del sistema neumático que en su mayoría son del mismo fabricante, no obstante se realizó el análisis técnico para la selección de estos componentes cuyo detalle se encuentra en la Tabla 34.

Tabla 34

Matriz de selección de componentes neumáticos complementarios.

Válvulas de flujo, conectores y accesorios			
Criterio	AIRTAC	SMC	FESTO
Compatibilidad 1/4" NPT – 8 mm	Alta	Alta	Alta
Estanqueidad	Alta	Alta	Alta
Facilidad de montaje	Muy alta	Alta	Alta
Resistencia mecánica	Alta	Alta	Alta
Mantenimiento	Bajo	Medio	Medio
Disponibilidad local	Alta	Media	Baja
Costo	Bajo	Alto	Alto
Resultado	Seleccionada	Rechazada	Rechazada
Unidad de mantenimiento y reguladores de presión			
Criterio	AIRTAC	SMC	FESTO
Precisión de regulación	Muy alta	Alta	Alta
Estabilidad del caudal	Muy alta	Alta	Alta
Robustez industrial	Muy alta	Alta	Alta
Facilidad de ajuste	Alta	Alta	Media
Mantenimiento	Bajo	Medio	Medio
Disponibilidad local	Alta	Media	Media
Costo	Medio	Alto	Alto
Resultado	Seleccionada	Rechazada	Rechazada
Mangueras neumáticas y accesorios			
Criterio	AIRTAC	SMC	FESTO
Flexibilidad	Alta	Media	Alta
Resistencia a presión	Alta	Media	Alta
Estanqueidad	Muy alta	Media	Alta
Facilidad de instalación	Alta	Alta	Alta
Compatibilidad con conectores	Muy alta	Alta	Alta
Costo	Bajo	Alta	Alta
Resultado	Seleccionada	Rechazada	Rechazada

Diseño mecánico

El diseño mecánico de la máquina se desarrollará con el software SolidWorks, pensado para el diseño asistido por computadora CAD, este es usado ampliamente en aplicaciones de diseño industrial y de ingeniería aplicada a proyectos, este software permitirá la modelación 3d, de cada componente del sistema lo que facilitara la visualización geométrica y la verificación de interferencias entre piezas dado que también nos permite generar ensamblajes completos con los que se podrá simular el funcionamiento y comportamiento del diseño, Esto permitirá realizar modificaciones y ajustes a los parámetros cinemáticos, de movimientos lineales y rotacionales involucrados en los mecanismos de posicionamiento, sujeción y accionamiento.

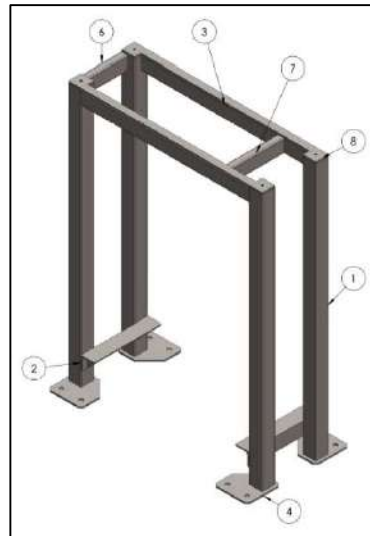
El software también permite correr simulaciones de esfuerzo deformación, térmicas y aerodinámicas, lo que resulta fundamental para validar el diseño un sistema antes de su fabricación, estas simulaciones permitirán verificar que los componentes seleccionados operen aplicando factores de seguridad acordes a las condiciones de cargas estáticas o cíclicas, vibración, presión y temperatura.

Diseño de sistema mecánico estructural

El diseño estructural consiste en el ensamblaje de los componentes detallados en la fase de selección, la primera etapa de diseño es la estructura sobre la que se soportarán todos los componentes de la máquina y sobre la que residirán todos los esfuerzos y cargas producidas por las operaciones individuales y combinadas, los perfiles estructurales también serán responsables de alojar las bases para los actuadores neumáticos, así o como los gabinetes eléctricos, protecciones mecánicas entre otros; la Figura 22, permite visualizar el ensamblaje estructural mientras que el detalle de piezas y sus cantidades se evidencian en el Anexo 11.

Figura 22

Ensamble de estructura principal de sistema propuesto.

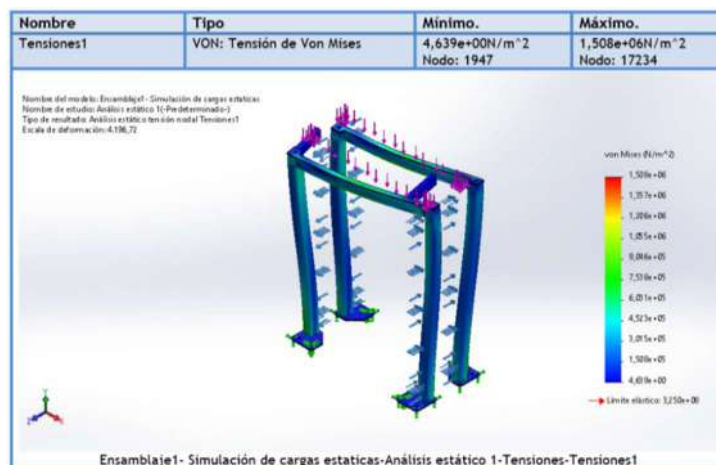


Nota. Se adjunta el plano detallado del ensamblaje en el Anexo 11.

El ensamblaje propuesto deberá garantizar la integridad estructural acorde a las cargas y esfuerzos a los que podría estar sometido durante su operación, por lo que se realizó un análisis de cargas estáticas mediante el método de los elementos finitos utilizando el módulo SolidWorks Simulación según apreciación de Figura 23, el estudio consideró el comportamiento elástico lineal del material AISI 1015 estirado en frío, aplicando cargas estáticas equivalentes al peso de los elementos a instalar.

Figura 23

Resultados de estudio de análisis estático.



Nota. Se adjunta el análisis completo en el Anexo 12.

Los resultados obtenidos muestran una tensión máxima de $1,51 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, inferior al límite elástico del material ($3,25 \times 10^8 \text{ N/m}^2$), lo que da como resultado un factor de seguridad aproximado de 215, en cuanto a los desplazamientos máximos registrados se obtuvo 0,0389 mm, mientras que las deformaciones unitarias se mantienen dentro de los factores de seguridad (FS) (13), el cual se determina como la relación entre el límite elástico del material y la tensión máxima de Von Mises obtenida en la simulación estática.

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{vm}} \quad (13)$$

Donde:

- σ_y = límite elástico del material.
- σ_{vm} = tensión máxima de von Mises obtenida en la simulación.

Para el material seleccionado, acero AISI 1015 estirado en frío se obtuvo un factor de seguridad de 215 (14) tomando en cuenta los esfuerzos configurados en el software para efectos de las pruebas ejecutadas.

$$\begin{aligned} \sigma_y &= 3,25 \times 10^8 \text{ N/m}^2 \\ \sigma_{vm} &= 1,51 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \\ FS &= \frac{3,25 \times 10^8}{1,51 \times 10^6} = 215 \end{aligned} \quad (14)$$

Diseño de sistemas mecánicos complementarios

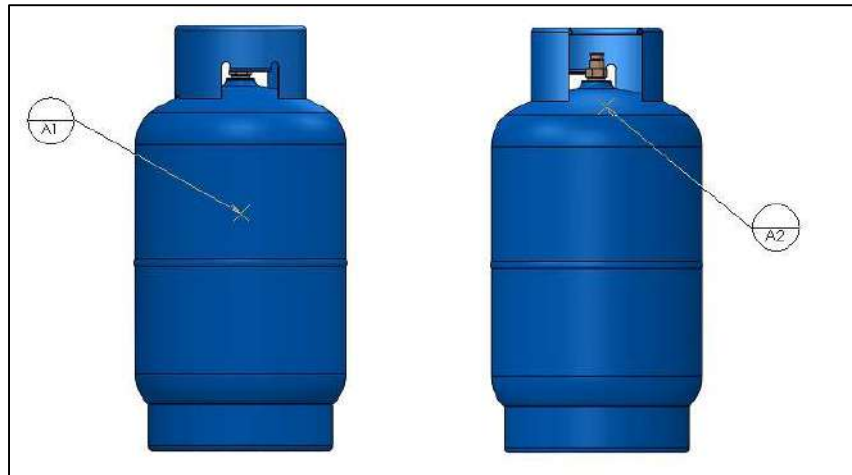
Sistema mecánico de centrado y retención de cilindro.

Dado que el sistema propuesto debe adaptarse a los transportadores de cilindros existentes, es importante que, a la llegada de cada cilindro a la estación de impresión, el mecanismo sea capaz de detenerlo, centrarlo y mantenerlo en posición de manera controlada con la finalidad de ejecutar una correcta impresión de logotipo y tara. Durante

específicamente en la curvatura o chaflan del cilindro Ref. (A1), mientras que el logo deberá ir paralelo a la tara en el cuerpo del cilindro Ref. (A2) conforme la Figura 25.

Figura 25

Ensamblaje mecánico de posicionamiento y rotacional de cilindros.



Nota. Elaboración propia.

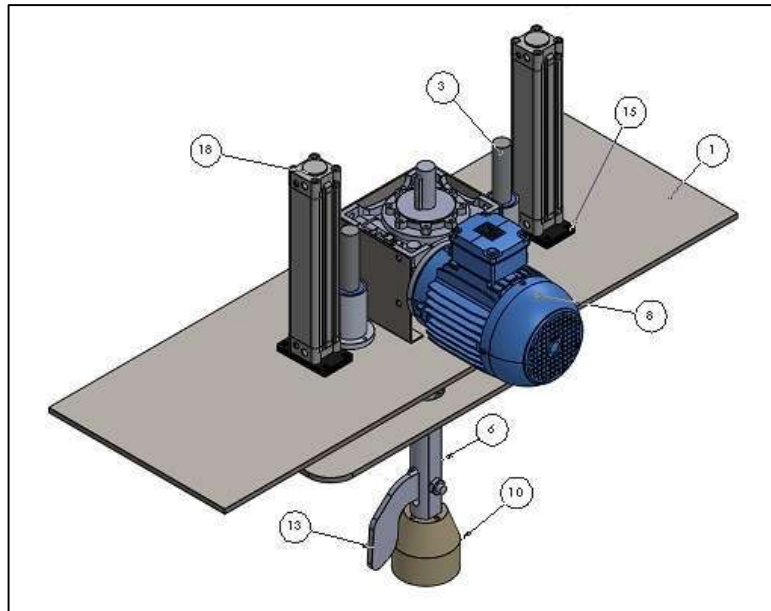
Estas referencias normativas condicionan el diseño del sistema mecánico, haciendo necesario configurar el mecanismo de centrado y retención con un sistema de rotación controlada. El cilindro debe girar hasta alcanzar los ángulos precisos de alineación con la finalidad de garantizar que la impresión de la tara y el logotipo se ejecuten en área correcta, por lo que para cumplir con este requerimiento, se diseñó de un sistema de rotación accionado mediante un motor trifásico acoplado a una caja reductora, cuya función es transmitir el movimiento rotacional de manera controlada y estable, permitiendo posicionar el cilindro con la precisión angular requerida por la normativa y por los estándares de calidad requeridos por la compañía.

Para el diseño se consideraron movimientos lineales y rotacionales, los cuales se ejecutarán con actuadores neumáticos Ref. (18) y el motor trifásico antes mencionado Ref. (8), el movimiento lineal tiene como propósito acercar una copa Ref. (10) a la válvula del cilindro y mediante una leva que cae por gravedad Ref. (13), el motor transmite el movimiento de rotación y genera la tracción suficiente para girar el cilindro hasta dejarlo

en la posición requerida, en la Figura 26 se aprecia de manera gráfica el ensamblaje de los componentes que conformarán el mecanismo.

Figura 26

Ensamblaje mecánico de rotación de cilindros.



Nota. Se adjunta el plano detallado del ensamblaje en el Anexo 14.

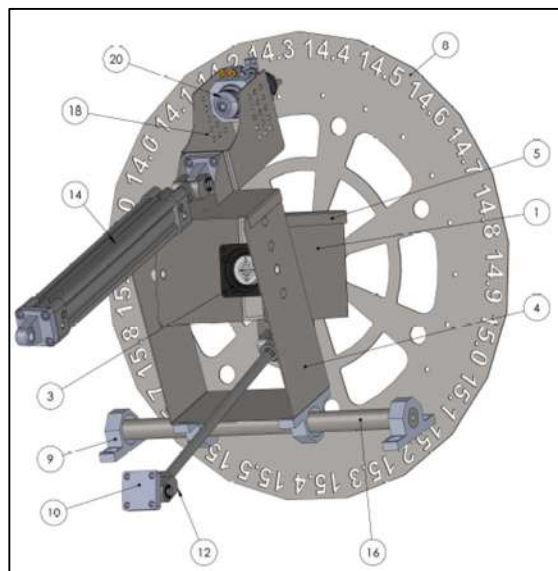
Sistema mecánico de impresión de taras.

De acuerdo a la Figura 27, el ensamblaje encargado de gestionar de manera automática la selección e impresión de taras, consiste en un disco de acero inoxidable 304 cortado con los pesos desde el 14,0 hasta el 16,0 Ref. (14), es decir que el disco cuenta con 21 taras que se acoplan a un servo reductor Ref. (8), cuya función es la transmisión de movimiento rotacional de manera controlada hasta ubicarlo el ángulo correcto en función al peso del cilindro ingresado o en su defecto, en función a la tara marcada en el asa del cilindro. El ensamblaje también cuenta con un mecanismo que acerca y aleja el disco en función al cumplimiento de las etapas funcionales Ref. (14) y Ref. (10), lo cual quiere decir, que el disco deberá acercarse al cilindro una vez que este se encuentre debidamente posicionado.

El ensamblaje también cuenta con sistemas de soporte para la pistola automática de sublimado de acuerdo con la Ref. (18) y Ref. (20); cuyo funcionamiento consiste en la aspersión de pintura líquida proyectada en el área del número acorde a la posición angular del disco. El diseño permite realizar ajustes de posición de las piezas, lo que facilita la calibración de los sistemas hasta obtener la sublimación óptima de acuerdo con las necesidades del operador.

Figura 27

Ensamblaje mecánico de mecanismo de marcación de taras.



Nota. Se adjunta el plano detallado del ensamblaje en el Anexo 15.

Sistema mecánico de impresión de logotipos.

Es importante mencionar que no se consideraron opciones como tampografía o sistemas de impresión por proyección de tinta debido a los factores operativos como la temperatura del cilindro y la pintura que aún se encuentra en proceso de secado, otro factor importante es el color del cilindro ya que al ser azul dificulta la impresión por proyección de tinta, además reduce la visibilidad del logotipo en el cilindro.

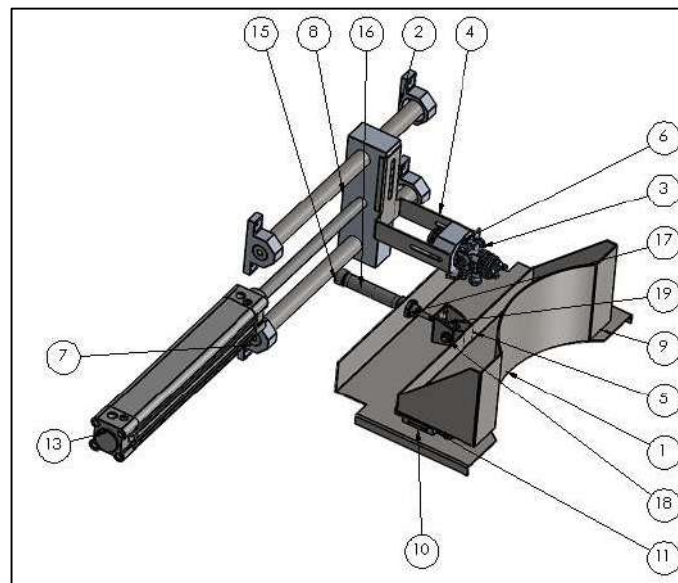
Considerando estos factores el ensamblaje diseñado para ejecutar la impresión de logotipo de la compañía mediante un proceso de sublimación con sistemas de aspersión de pintura automáticos, tal como se puede apreciar en la Figura 28, consiste en una

bandeja de acero inoxidable 304 con la forma del logotipo de la compañía Ref. (1), a esta bandeja se le aplico una operación de rolado con el radio de los cilindros de 15Kg con la finalidad de que la operación de sublimado se ejecute bajo los estándares de calidad solicitados por la compañía y por las normativas aplicables.

El diseño considero el movimiento de desplazamiento lineal en eje (x) de la bandeja, el cual acercará la bandeja al cilindro mismo que se ejecutará con el actuador neumático Ref. (16); mientras que para el desplazamiento lineal en eje (y) de la pistola de sublimación Ref. (3) se gestionará mediante el actuador Ref. (13). Estos mecanismos usan guías lineales Ref. (11) y Ref. (8) para asegurar el desplazamiento sin restricciones, además asegura la precisión de los movimientos.

Figura 28

Ensamblaje mecánico de mecanismo de marcación de logotipos.



Nota. Se adjunta el plano detallado del ensamblaje en el Anexo 16.

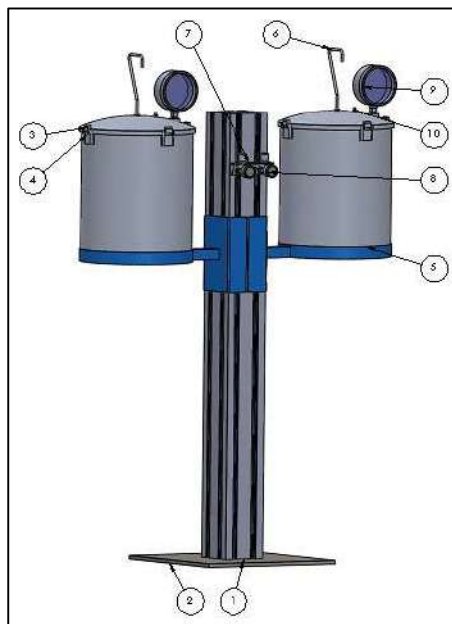
Sistema mecánico de contención de pintura.

Para la que la pintura pueda ser movilizada hasta las pistolas automáticas, se ha contemplado el uso de recipientes herméticos pensados para soportar presiones de hasta 120 Psi, ya que la pintura se inyecta mediante presión positiva, en este caso se contempla el uso de un tanque por cada pistola a usar. Cada tanque cuenta con regulación de presión

de aire y con manómetros para medición, para evitar un escenario de sobrepresión del tanque, se han contemplado la instalación de válvulas PSV, que servirán como sistemas de alivio de presión en caso de una falla de los reguladores o un error en la manipulación, la altura de los tanques es regulable en función de las necesidades del operador, sin embargo, se ha considerado un estándar de 1,20 cm desde el piso como recomendación del fabricante.

Figura 29

Ensamblaje mecánico de mecanismo de contención de pintura líquida.



Nota. Se adjunta el plano detallado del ensamblaje en el Anexo 17.

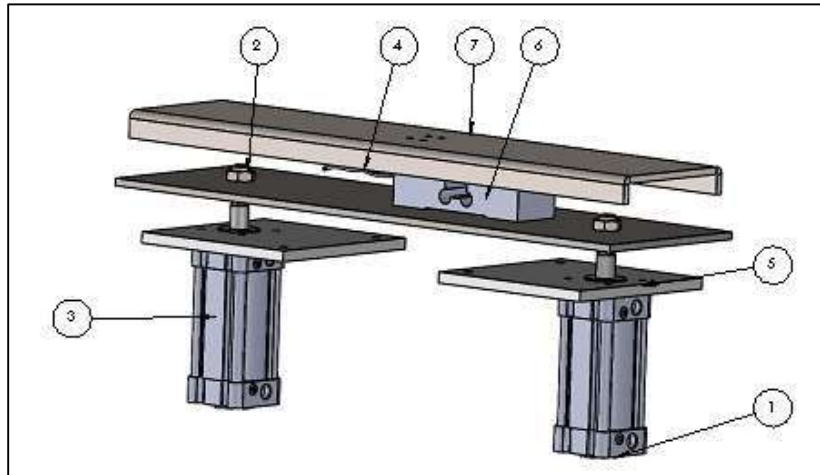
Sistema mecánico de elevación.

El diseño del sistema propuesto se compone de un mecanismo de elevación de cilindro, este elemento según se observa en la Figura 30, está conformado por placas de transmisión de carga Ref. (2 y 7) y actuadores neumáticos Ref. (1 y 3) dispuestos de forma simétrica, lo que permite elevar el cilindro desde el transportador y separar su contacto con el transportador, esto garantiza que el cilindro no presente bloqueos ni restricciones mecánicas a la hora de generar la rotación además permite complementar los elementos de guiado y centrado de cilindro al generar una superficie de apoyo correctamente

alineada ,manteniendo la estabilidad del cilindro durante la elevación, evitando desplazamientos laterales que podrían generar daños a los elementos.

Figura 30

Ensamblaje mecánico de mecanismo de elevación.



Nota. Se adjunta el plano detallado del ensamblaje en el Anexo 18.

Diseño eléctrico

El diseño eléctrico de la impresora automática de taras y logotipos es fundamental para garantizar la automatización del sistema y el funcionamiento de los componentes mecánicos y neumáticos en un entorno controlado y seguro; tomando en consideración que el equipo operará en un ambiente con presencia de vibraciones mecánicas, contaminación ambiental y operación continua, el diseño de las conexiones eléctricas entre los diferentes componentes se deberá realizar bajo los criterios técnicos mencionados, así como el aseguramiento del cumplimiento de la normativa eléctrica y de seguridad aplicable.

Como una parte importante del diseño, se contempla la arquitectura de los componentes mecánicos del sistema y su funcionamiento global distribuyéndose en tres etapas fundamentales; la conexión de los sistemas de control, la distribución de potencia y alimentación de equipos, la conexión de los periféricos externos como sensores y actuadores. Tomando siempre las consideraciones de seguridad para atmósferas

clasificadas, conforme a los planos eléctricos adjuntos en el apartado de anexos. El diseño eléctrico se fundamenta en normativas nacionales e internacionales que establecen los requisitos técnicos y de seguridad para el diseño y construcción de equipos que operan en la industria y que a su vez están expuestos a atmósferas potencialmente explosivas. Entre las principales normativas consideradas para el diseño se encuentran la (National Fire Protection Association , 2024) NFPA 79, que establece los procedimientos e instrucciones sobre la fabricación y diseño de máquinas y como protegerlas para evitar la generación de descargas eléctricas al personal o a los equipos a su alrededor , también establece la clasificación de áreas peligrosas y los requerimientos para equipos eléctricos en Clase I División 2, aplicable para aquellas

Diseño de sistemas de control

El sistema eléctrico de control del equipo automático de impresión de taras y logotipos se estructura sobre un PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC, encargado de la adquisición de señales, el procesamiento lógico y el accionamiento de actuadores eléctricos y neumáticos. El diseño se elaboró a partir de la información obtenida en el análisis de etapas funcionales y dimensionamiento de equipos, basando su arquitectura en un esquema secuencial en el que el PLC gestiona las etapas de ingreso del cilindro, posicionamiento, elevación, pesaje o digitación, rotación, impresión y liberación, garantizando la sincronía entre los sistemas mecánicos, neumáticos y eléctricos.

Diseño y conexiones de entradas y salidas al PLC

Las entradas digitales del PLC se diseñaron en AutoCAD tal como se muestra en Figura 31, con la premisa de adquirir información de proceso y con ello ejecutar rutinas de manera ordenada mediante la gestión de sus salidas según se puede observar en la Tabla 34; por ejemplo, las entradas (PNA0 a PNA9) se conectan al sistema con la

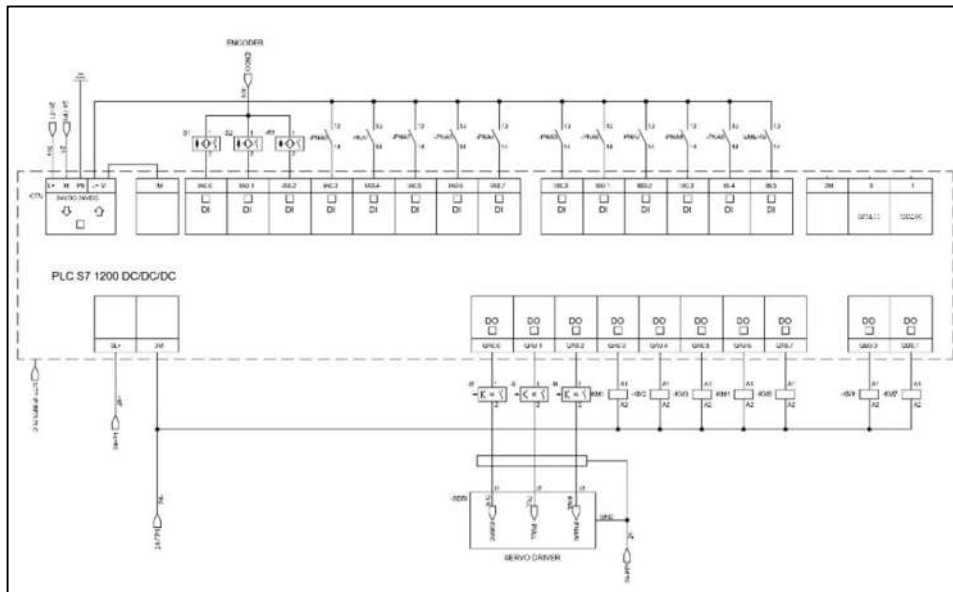
finalidad de ejecutar la digitación de datos de tara, mientras que la entrada (PNA10), correspondiente al sistema de parada de emergencia, el cual se cablea de manera directa y prioritaria al PLC, asegurando que ante la activación de estos dispositivos se genere una interrupción inmediata del proceso, esta señal se considera de máxima prioridad lógica, inhibiendo todas las salidas independientemente del estado del proceso por lo que se utiliza un contacto normalmente cerrado, con lo cual se garantiza la parada del equipo incluso en condiciones de falla o rotura en su cableado.

En cuanto a las salidas digitales del PLC, sus conexiones se diseñaron para accionar indirectamente los elementos de potencia mediante el uso de relés con la finalidad de evitar cargas inductivas al controlador reducir el riesgo de cortos que puedan dañar la salida, incrementando la vida útil del PLC y aislándolo de perturbaciones eléctricas, sobrevoltaje o inyección de corrientes parasitas producidas por el accionamiento de componentes con cargas inductivas.

Las salidas destinadas al control del servo motor a través del servo controlador son (SDRI I1, I2 e I3), estas ocupan pulsos rápidos y señales PWM para habilitar el servo motor , definir el sentido de giro y ejecutar el movimiento de posicionamiento del disco de impresión, en cuanto las conexiones que accionan los relés para la activación de los actuadores neumáticos del sistema encargados de las operaciones como: empuje y separación de cilindros, detención del cilindro en la estación, centrado, bajada de copa y movimiento horizontal de la pistola son (KM1 a KM7), estas definiciones se visualizan con mayor detalle en la Tabla 35, en donde se listan las abreviaturas de cada componente que guarda conexión directa al PLC y su relación con el funcionamiento eléctrico y de control del sistema automático de impresión de taras y logotipos, esta tabla permitirá comprender intuitivamente como está constituido el diseño eléctrico y como ubicar cada componente en el plano adjunto.

Figura 31

Diseño eléctrico de conexiones Periféricos - PLC.



Nota. Se adjunta el plano detallado de conexiones en el Anexo 19.

Tabla 35

Abreviaturas y funciones de componentes conectados a PLC.

Tipo	PLC	Componente	Función	Abreviatura
Entradas digitales	Siemens s7 1200 1214c dc/dc/dc	Encoder absoluto	Toma de datos para control de posicionamiento	-ENCO B1 -ENCOB2 -ENCO B3
		Pulsador n/a	Teclado -datos de tara	-PNA0
		Pulsador n/a	Teclado -datos de tara	-PNA1
		Pulsador n/a	Teclado -datos de tara	-PNA2
		Pulsador n/a	Teclado -datos de tara	-PNA3
		Pulsador n/a	Teclado -datos de tara	-PNA4
		Pulsador n/a	Teclado -datos de tara	-PNA5
		Pulsador n/a	Teclado -datos de tara	-PNA6
		Pulsador n/a	Teclado -datos de tara	-PNA7
		Pulsador n/a	Teclado -datos de tara	-PNA8
		Pulsador n/c	Sistema de parada de emergencia	-PNA9
Salidas digitales	Siemens s7 1200 1214c dc/dc/dc	Servo motor	Control se servomotor para impresión de tara	-SDRI- I1 -SDRI- I2 -SDRI- I3
		Electroválvula	Empuje de cilindros automático	-KM1
		Electroválvula	Parada de ingreso a máquina	-KM2
		Electroválvula	Centrado de cilindro	-KM3
		Electroválvula	Bajada de copa y asenso de cilindro	-KM4
		Electroválvula	Acercamiento de logo	-KM5
		Electroválvula	Acercamiento de tara	-KM6
Electroválvula	Movimiento horizontal de pistola	-KM7		

Diseño y conexiones de entradas y salidas al Módulo de Expansión.

Debido a la envergadura del sistema, las entradas y salidas del PLC no son suficientes para ejecutar la totalidad de las tareas que se deban realizar para cumplir el proceso de impresión de taras y logotipos, haciendo necesaria la incorporación de un módulo de expansión Siemens SM 1223 DC/DC cuya función principal es ampliar la capacidad de entradas y salidas digitales del PLC, facilitando la integración de aquellos periféricos de entrada y salida faltantes y permitiendo generar reservas ante futuras modificaciones o fallos del equipo.

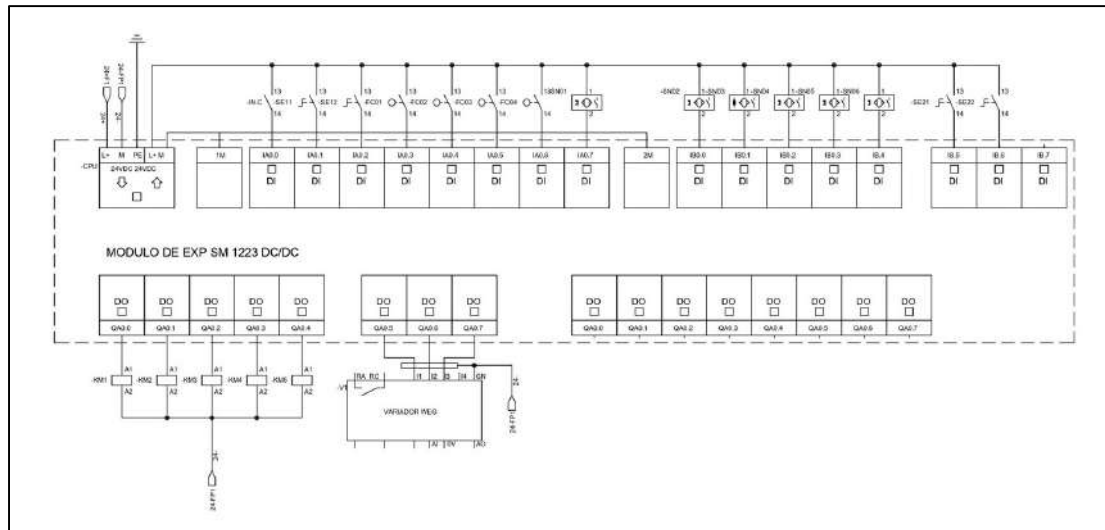
Las entradas digitales del módulo de expansión están destinadas principalmente al sensado de posiciones mecánicas mediante el ingreso de señales con finales de carrera, sensores inductivos y magnéticos, los cuales están asociados a pistones neumáticos. Respecto a las salidas digitales, el módulo de expansión gobierna directamente las electroválvulas responsables de los procesos de sublimado de tara y logotipo, también se integra la señal de mando hacia el variador de frecuencia para el arranque y parada del motor, manteniendo una clara separación entre control lógico y potencia, en este contexto, se visualiza en la Tabla 36 el detalle de los elementos de entrada y salida asociados al módulo de expansión el cual dispone de un BUS de comunicación que se enchufa al PLC permitiendo interactuar de manera segura y estable mientras se ejecutan las tareas tanto del PLC como del módulo de expansión. Al igual que con el PLC, el módulo de expansión requiere de un plano eléctrico que permita la lectura de conexiones entre componentes y a la vez conocer el comportamiento del sistema eléctrico de control, antes de su construcción y puesta en marcha en este contexto, en la Figura 32 se puede visualizar el plano de conexiones.

Tabla 36*Entradas y salidas de componentes conectados al módulo de expansión.*

Tipo	PLC	Componente	Función	Abreviatura
Entradas digitales	Expansión Sm 1223 dc/dc	Pulsador n/a	Activa separación de cilindros	-IN C
		Selector 3 p	Selección de separación automática	-SE11
			Selección de separación automática	-SE12
		Final de carrera	Sensado de cilindros para separación	-FC1
		Final de carrera	Sensado de cilindros para brazos de parada	-FC2
		Final de carrera	Sensado de cilindros inicio de proceso	-FC3
		Final de carrera	Sensado de transportador lleno	-FC4
		Sensor inductivo	Sensado de pistón centrado de cilindro	-SN1
		Sensor magnético	Sensado pistón bajada de copa	-SN2
		Sensor inductivo	Sensado pistón acercamiento de tara	-SN3
		Sensor magnético	Sensado pistón horizontal de pistola	-SN4
		Sensor magnético	Detecta posición de actuador de copa	-SN5
		-	Reserva de sistema	-SN6
		Salidas digitales	Expansión Sm 1223 dc/dc	Selector 2 p
Habilita el cilindro transportador B	-SE22			
Electroválvula	Sublimar logo			-KM1
Electroválvula	Sublimar tara			-KM2
Electroválvula	Paso de cilindro transportador A			-KM3
Electroválvula	Paso de cilindro transportador B			-KM4
-	Reserva de sistema			-KM5
Variador	Arranque de motor			-V1-I1
	Parada de motor	-V1-I2		
	Frenado rápido	-V1-I3		

Figura 32

Diseño eléctrico de conexiones Periféricos – Módulo de Expansión.



Nota. Se adjunta el plano detallado de conexiones en el Anexo 20.

Diseño de sistemas eléctricos de potencia

El sistema eléctrico de potencia se encarga de distribuir energía a los elementos que demandan mayores niveles de corriente, como el motor trifásico o el servomotor, sin dejar de lado la fuente de alimentación que toman energía del circuito de potencia para abastecer de voltaje regulado a los sistemas de control. El diseño propuesto asegura el seccionamiento de los componentes al incluir disyuntores, fusibles, y relés; los cuales permiten aislar fallas sin comprometer la integridad del resto de los componentes.

El circuito de control opera a 12 y 24 VDC, lo que reduce el riesgo eléctrico y mejora la confiabilidad de las señales, mientras que el circuito de potencia opera a 220v trifásico; ambos circuitos consideran en su diseño la protección frente a descargas estáticas y contactos inadecuados con la finalidad de minimizar el riesgo a los operarios y a los equipos. Al considerar la separación de los circuitos de potencia y control se minimizan interferencias electromagnéticas y la inyección de señales no deseadas, por lo que la interconexión entre ambos sistemas se realiza únicamente a través de señales de mando con relés, evitando la transferencia directa de energía eléctrica del circuito de

Tabla 37*Abreviaturas y funciones de sistema eléctrico de potencia y alimentación.*

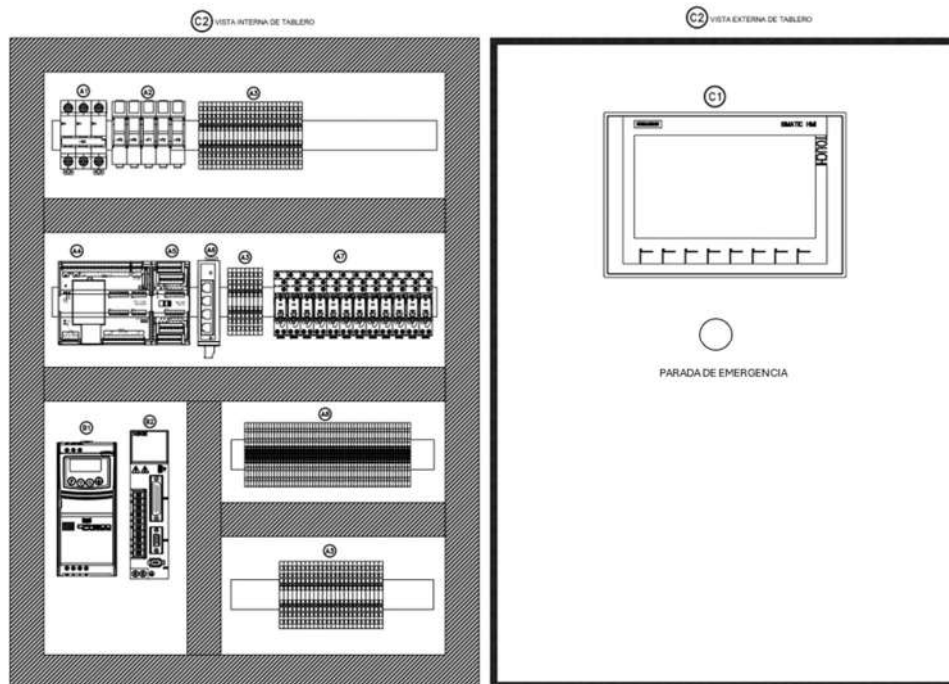
Componente	Función	Abreviatura
breaker 3p	Protección global del circuito	-Q1
	Protección de fuente de alimentación	-F0
Fusible cerámico Schneider	Protección de PLC-HMI y circuitos de control	-F1
	Protección de electroválvulas y relés	-F2
	Protección de señales de 12v	-F3
Fuente con protección intrínseca	Alimentación de circuitos de control	FP-1
Variador de frecuencia Weg	Control de motor trifásico	-V1
Motor bridado Weg wf21	Rotación de cilindro	MTRIF
Servo controlador Xinje serie	Control de servo motor	-SDRI
Servo reductor Xinje	Movimiento de disco de taras	-SERV
	Empuje de cilindros automático	-KM1
	Parada de ingreso a máquina -	-KM2
	Centrado de cilindro	-KM3
	Bajada de copa y elevación de cilindro	-KM4
	Acercamiento de logo	-KM5
	Acercamiento de tara	-KM6
	Movimiento horizontal de pistola	-KM7
	Sublimar logo	-KM8
	Sublimar tara	-KM9
	Paso de cilindro transportador a	-KM10
	Paso de cilindro transportador b	-KM11
	Reservado para sistema	-KM12
	Rele 5 pines, 10 AMP, 24 vdc,	Empuje de cilindros automático
Parada de ingreso a máquina		-EV2
Centrado de cilindro		-EV3
Bajada de copa		-EV4
Acercamiento de logo		-EV5
Acercamiento de tara		-EV6
Movimiento horizontal de pistola		-EV7
Sublimar logo		-EV8
Sublimar tara		-EV9
Paso de cilindro transportador A		-EV10
Paso de cilindro transportador B		-EV11
Reservado para sistema		-EV12
Válvula solenoide neumática 5/2	Comunicación Ethernet IP	SWITCH 3P
	Interfaz de control	PANEL HMI
Conmutador Ethernet 3 puertos		
HMI touch ktp900 9.0"		

Diseño de tablero eléctrico

Si bien el diseño eléctrico y las conexiones de los diferentes circuitos permiten tener una idea clara del funcionamiento y la estructura del sistema propuesto, también es importante generar el diseño de la distribución y montaje de los componentes eléctricos en el gabinete modular y pedestal de digitación, ya que esto permitirá facilitar el posible proceso constructivo, así como asegurar que los componentes encajan en el espacio determinado para su instalación. El diseño previo también facilita la distribución de los circuitos en función a la normativa vigente, como la NFPA 70, en la que se recomienda los sistemas de protección se ubiquen en la parte superior de los tableros eléctricos reduciendo los posibles errores de manipulación inadecuada y aislando estos componentes de los sistemas de control que tienden a ser susceptibles a sobrevoltajes o sobre corrientes, así como a las perturbaciones electromagnéticas; esta norma también exige la instalación de los sistemas eléctricos en gabinetes con protección IP65, asegurando el aislamiento térmico y la reducción de la contaminación asociada a las partículas de polvo y contaminantes particulados que puedan existir en el ambiente.

El diseño del tablero eléctrico tal como se puede evidenciar en la se basó en un gabinete modular de 80x60x30 dimensionado para alojar los componentes eléctricos seleccionados para este proyecto, además se debió considerar el espacio suficiente para la instalación de la Riel din y la Canaleta ranurada, elementos de gran importancia para la fijación de los componentes y la distribución ordenada del cableado a cada uno de los elementos, el diseño contempla la instalación de la interfaz HMI en tapa delantera del gabinete, al igual que un botón de parada de emergencia permitiendo el acceso para el operador en caso de un evento que requiera acceder de manera segura al sistema o a su vez bloquearlo, en cuanto al pedestal de digitación, cuyo detalle se encontrara en el Anexo 23.

Figura 34
Diseño de tablero de distribución eléctrica.



Nota. Se adjunta el plano del tablero eléctrico detallado en el Anexo 22.

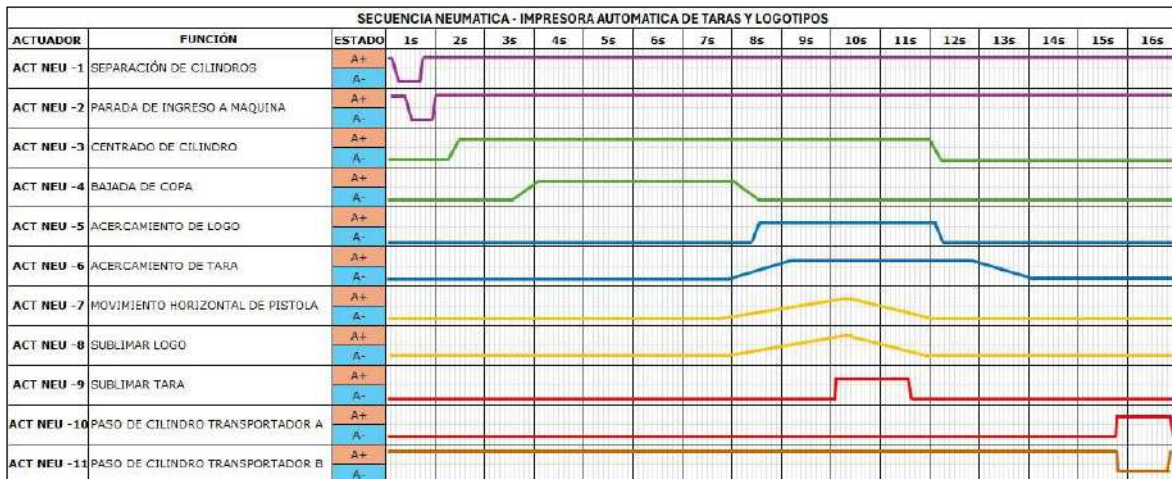
Diseño neumático

La secuencia del circuito inicia con la activación del actuador (ACT N-01), el que permite la separación de cilindros hacia el sistema de pintura, posteriormente el (ACT N-02) bloqueará el paso de cilindros hacia la máquina hasta la finalización de la operación individual, luego el mecanismo de parada del transportador (ACT N-03) se encargará de detener y posicionar el cilindro entrante mientras. Posteriormente, el esquema continúa con los actuadores de bajada de la copa de rotación, elevación de cilindro (ACT N-04) y los sistemas de acercamiento de logo y disco de taras (ACT N-05 y ACT N-06 y ACT N-07), consecutivamente los actuadores (ACT N-08 y ACT N-09) permiten el paso de pintura a las pistolas de sublimación.

El esquema neumático del sistema fue diseñado para garantizar el accionamiento confiable y seguro de cada actuador según se muestra en la Figura 35. En la que se aprecia

que el accionamiento de los componentes permite un control preciso de los movimientos lineales, asegurando la correcta secuencia de posicionamientos sin riesgo de colisiones.

Figura 35
Diagrama de tiempos y secuencia neumática.



Nota. Se adjunta el plano del circuito neumático detallado en el Anexo 24.

El diseño del gabinete neumático adjunto en el Anexo 25, define la arquitectura física del sistema de control, mediante la distribución ordenada del aire comprimido y de las electroválvulas que comandaran los actuadores, constituyéndose como el mecanismo principal del sistema neumático del equipo, por lo que el uso de un gabinete con características IP 65 es fundamental para garantizar una vida útil prolongada de los elementos, especialmente en un entorno donde existen contaminantes derivados del manejo de cilindros de GLP.

El sistema neumático ha sido concebido como un conjunto de conexiones mediante bloques de distribución neumática cuya función específica es el alojamiento y fijación de las electroválvulas a la vez que distribuye alimentación de aire mediante conductos contenidos en el mismo bloque, al que se incorpora una unidad FRL (Filtro–Regulador–Lubricador) ubicada en la entrada del sistema, asegurando que todo el circuito trabaje con aire limpio, seco y con presión controlada en cada uno de los bloques de electroválvulas dispuestos en el doble fondo del gabinete, mismos que se instalaron diseñaron de meneara ordenada y alineada, permitiendo una identificación clara de cada electroválvula y por lo

tanto facilitando la identificación de los elementos del circuito. Finalmente, y no menos importante, el gabinete neumático actúa como una barrera de seguridad funcional y operativa, ya que permite aislar los elementos activos en un espacio controlado, lo que reduce la exposición directa del operador a conexiones presurizadas.

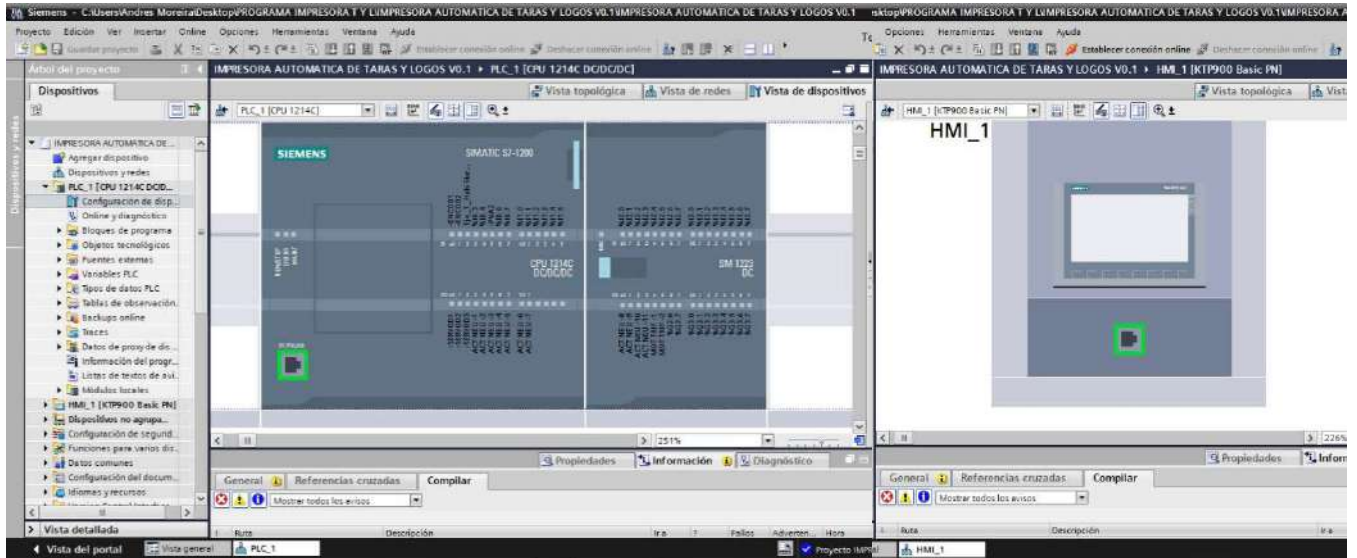
Programación de interfaz HMI y PLC

En el panorama actual de la Industria 4.0, la eficiencia en el diseño de sistemas de control no solo depende del hardware, sino de la capacidad de integrarlo con el software, que en este caso se ha desarrollado con el uso del Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) del fabricante Siemens cuya marca representa el estándar global más avanzado en este ámbito, constituyendo un entorno de ingeniería unificado que fusiona la programación de controladores (PLC), la visualización de interfaces (HMI) y la configuración de accionamientos de precisión (Motion Control) en una sola base de datos común.

Para el desarrollo de este proyecto, el uso de TIA Portal resulta indispensable ya que el PLC propuesto es un S7-1200 Siemens al igual que el módulo de expansión y la pantalla HMI tal como puede apreciarse en la Figura 36, seleccionados por su arquitectura de gestión de datos centralizada y su dinamismo para controlar señales de varios tipos, TIA Portal garantiza que cada variable definida en el bloque de datos del PLC esté disponible instantáneamente para el panel HMI y los objetos tecnológicos del servomotor. Esta consistencia de datos elimina los errores de mapeo, reduce los tiempos de depuración y permite implementar estructuras complejas, como el almacenamiento de datos en DB- Arrays para el uso en operaciones posteriores, permitiendo asegurar el funcionamiento óptimo del proceso, la importancia de esta plataforma radica también en su capacidad de diagnóstico y simulación avanzada mediante herramientas como PLCSIM y el panel de "Puesta en marcha" (Commissioning) de los objetos tecnológicos,

es posible validar el comportamiento cinemático del servomotor Xinje y la lógica de digitación de taras antes de la implementación física.

Figura 36
Dispositivos agregados y asignación de variables.



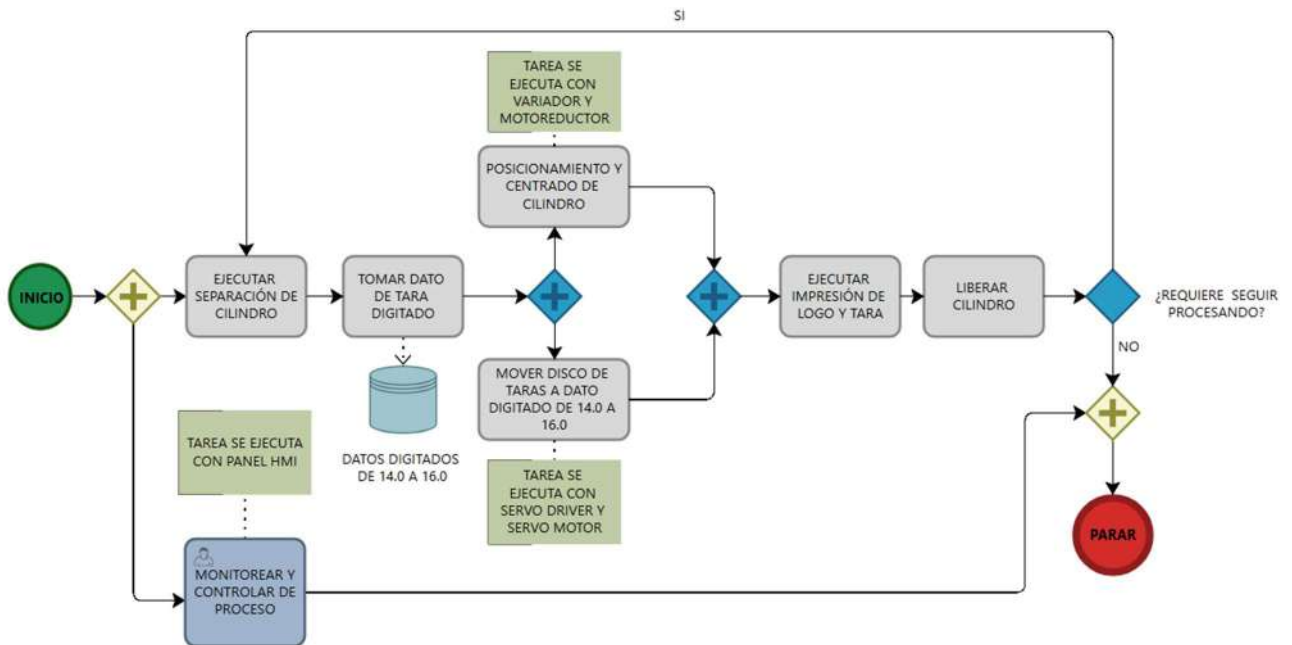
Nota. Elaboración propia.

Arquitectura del Sistema de Control y Gestión de Datos

La automatización del sistema de marcado y sublimado de cilindros se fundamenta en un controlador lógico programable Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC, cuya arquitectura de estado sólido permite la generación de trenes de pulsos (PTO) de alta frecuencia necesarios para el control de movimiento del servo motor, mientras que para el sistema de control del operador se hará uso de una Interfaz Hombre-Máquina (HMI), necesaria para que el operador defina los parámetros de funcionamiento y pueda visualizar el status de funcionamiento así como toda la información de los diferentes periféricos.

La Figura 37 permite conocer de manera más práctica, la ejecución del programa cuyo funcionamiento será monitoreado por el operador en todo momento, gracias a la interfaz HMI, la programación se ordenó en función de la ejecución de tareas del sistema es decir, el paso uno es la separación del cilindro, por tanto la estructural del programa inicio con las variables y bloques de programa asignados para esa tarea en particular, la sucesión de las tareas continuara de manera ordenada y estructurada en función a las etapas contempladas.

Figura 37
Diagrama de ejecución de programación.



Nota. Estudio realizado por el investigador.

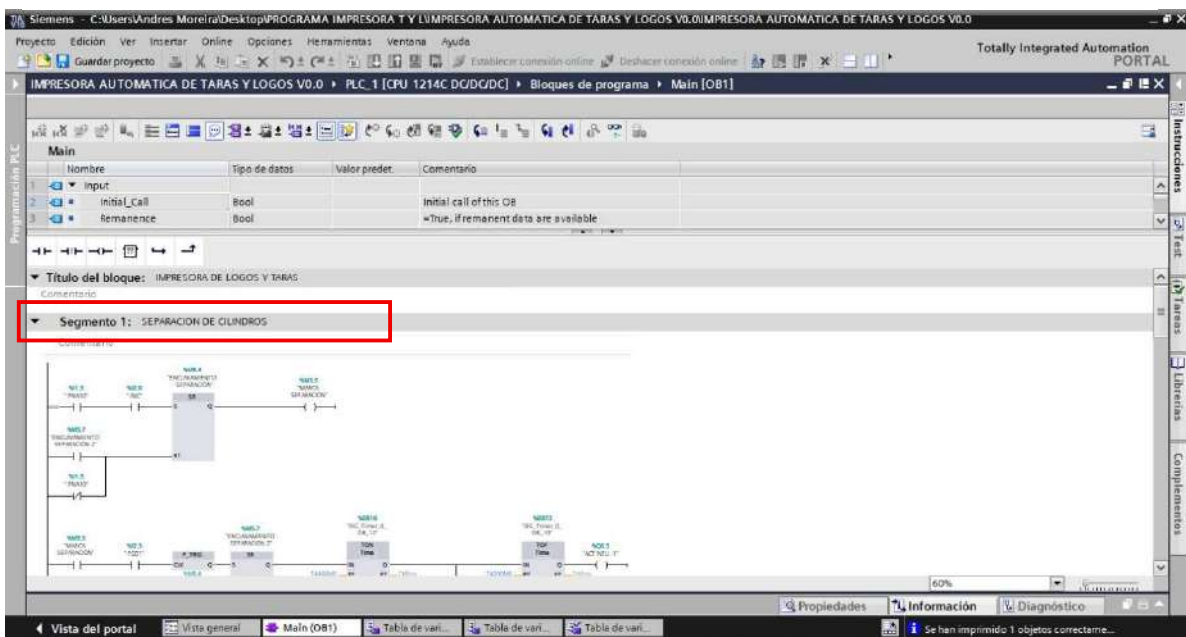
Separación de cilindros

La etapa de separación de cilindros representa el estado inicial del sistema en el que se separa el cilindro previo a ejecutar la digitación y posterior paso a centrado, se fundamenta en una lógica de control secuencial, este proceso se gestiona mediante la activación de marcas internas de estado y señales de entrada provenientes de sensores de posición (finales de carrera), los cuales condicionan la ejecución de la maniobra para

evitar colisiones. El software implementa una estructura de seguridad robusta, donde la transición hacia la apertura solo es permitida si se cumplen las restricciones de las subrutinas de enclavamiento, asegurando que los actuadores neumáticos operen en un entorno controlado y libre de interferencias con otras fases de producción.

La precisión de los movimientos se logra mediante el uso estratégico de bloques de temporización IEC y detectores de flancos de subida, que permiten una respuesta dinámica ante los cambios de señal, los temporizadores de retardo (TON/TOF) actúan sobre las salidas digitales del PLC, comandando directamente a las electroválvulas que accionan los cilindros neumáticos, esta configuración no solo asegura que la separación se mantenga durante el intervalo necesario para el correcto posicionamiento del producto, sino que también asegura que la digitación de la tara se lleve a cabo sin errores.

Figura 38
Segmento 1- Separación de cilindros



Nota. Elaboración propia.

Digitación de tara en pedestal

La eficiencia del sistema radica en la transición de señales eléctricas discretas (pulsadores físicos) a una estructura de datos indexada que permite la trazabilidad de

operaciones consecutivas, para garantizar la integridad de la información, se ha implementado un Bloque de Datos (DB) Global denominado DB_Teclado. Esta unidad de memoria actúa como un registro temporal, a la vez que gestiona el flujo de estados de escritura, según el manual de (Siemens Automatización, 2023), el uso de DBs globales optimiza el tiempo de ciclo del PLC al evitar el acceso constante a marcas de memoria genéricas.

La lógica de control se divide en capas: digitación, almacenamiento, validación y ejecución motriz de acuerdo con la estructuración y necesidades del programa en ejecución, la digitación se realiza mediante un pedestal con diez pulsadores físicos, cada pulsador está vinculado a una instrucción MOVE que carga una constante entera en la variable Valor_Boton. La técnica empleada es una Máquina de Estados Finita (FSM).

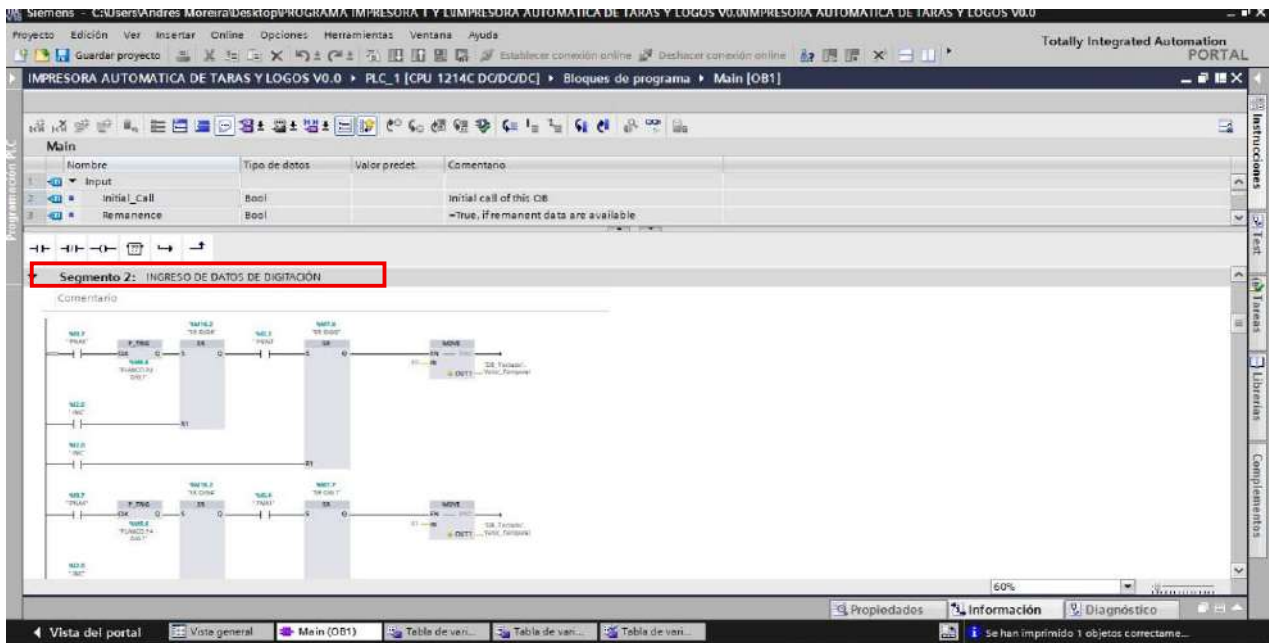
Una vez que el número ha sido conformado en la variable Valor_Temporal, el sistema requiere un proceso de validación de rango mediante el bloque IN_RANGE. Este "filtro" de seguridad impide que valores erróneos, fuera de los límites físicos de la máquina (14,0 a 16,0 mm), en donde el 1 es un dígito redundante en todos los valores digitados, por lo que no se considera necesario para la digitación quedando entonces rangos de (4,0 a 6,0) se deberá asumir el 1, Tras la validación, al accionar el botón de ENTER, el PLC ejecuta una transferencia de datos hacia un Array[0..19] of Int llamado Historico. La sofisticación de este paso radica en el direccionamiento indirecto: el PLC utiliza un Puntero_Escritura para depositar el dato en la posición correlativa exacta.

Ejemplo de sintaxis de direccionamiento indirecto:

```
"DB_Teclado".Historico["DB_Teclado".Puntero_Escritura]:"DB_Teclado".Valor_Temporal;
```

Este proceso de almacenamiento es fundamental para la autonomía de la máquina. El puntero de escritura se incrementa automáticamente en una unidad (+1) tras cada registro exitoso, permitiendo que el operador cargue una secuencia completa de cilindros sin detener el proceso. El uso de arreglos (Arrays) es una práctica recomendada por la norma IEC 61131-3, proporcionando una estructura de datos cohesiva que facilita la depuración y la expansión futura del sistema.

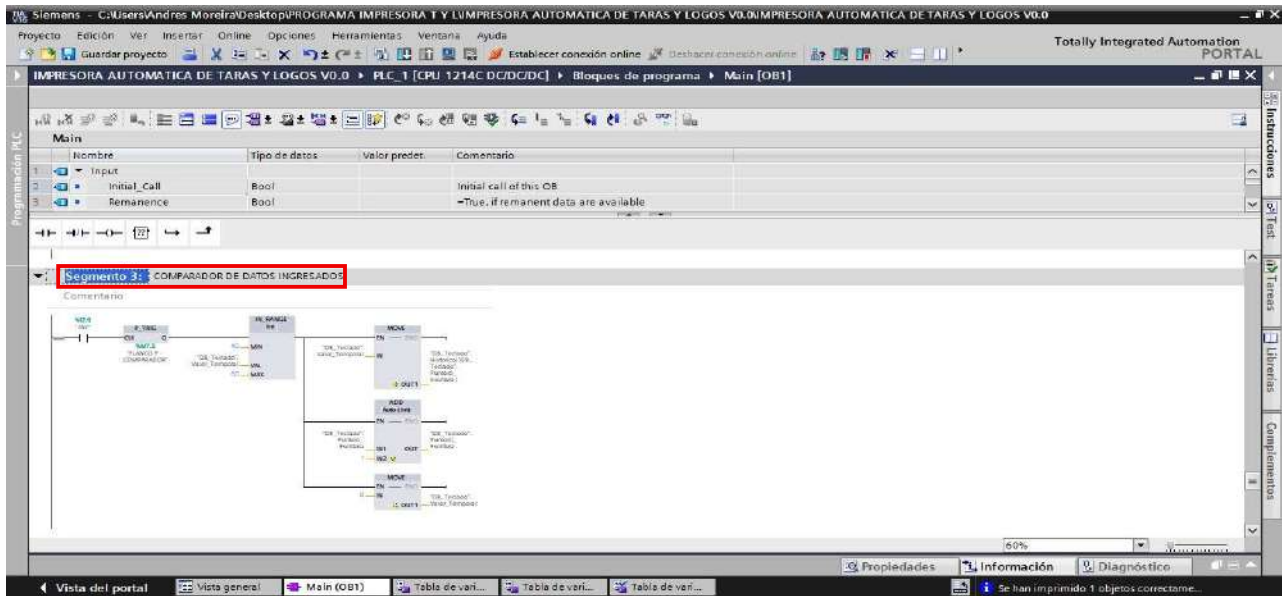
Figura 39
Segmento 2- Ingreso de datos de digitación.



Nota. Elaboración propia.

Figura 40

Segmento 3- Comparador y registro envío de dato a memoria DB.

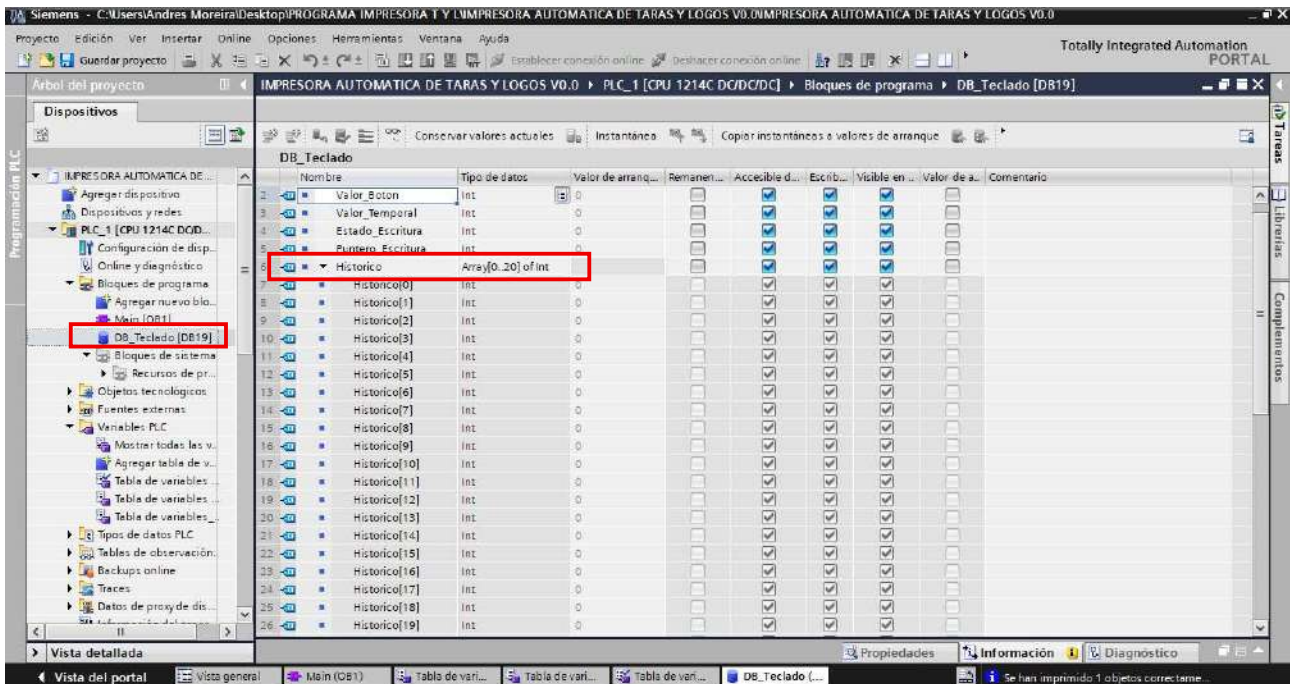


Nota. Elaboración propia.

La Figura 39 y Figura 40 permiten validar de manera gráfica los segmentos en los que se ha estructurado el programa para el funcionamiento de la digitación y el almacenamiento del dato registrado, ejemplo el operador digita 4,0 (Se asume 14,0) posteriormente el operario presiona un pulso de validación , lo que permite registrar el dato en una DB de memoria al mismo tiempo que se desplaza un espacio en la DB con la finalidad de no borrar el dato anterior y seguir desplazándolo en función del ingreso de datos del operario. Los datos ingresados se usarán de manera posterior para la asignación de movimientos al Servo Driver.

La Figura 41 permite visualizar el bloque DB creado para el almacenamiento de datos digitados, cuyo propósito principal es actuar como memoria temporal, dado que, por la naturaleza de la operación, la ejecución de la tarea de impresión de tara no necesariamente se ejecuta en el instante en el que se registra el dato, por tanto es importante que, este pueda respaldarse, manteniendo un orden específico y sobre todo asegurando que la impresión sea precisa.

Figura 41
DB- Array para almacenar datos de tara.



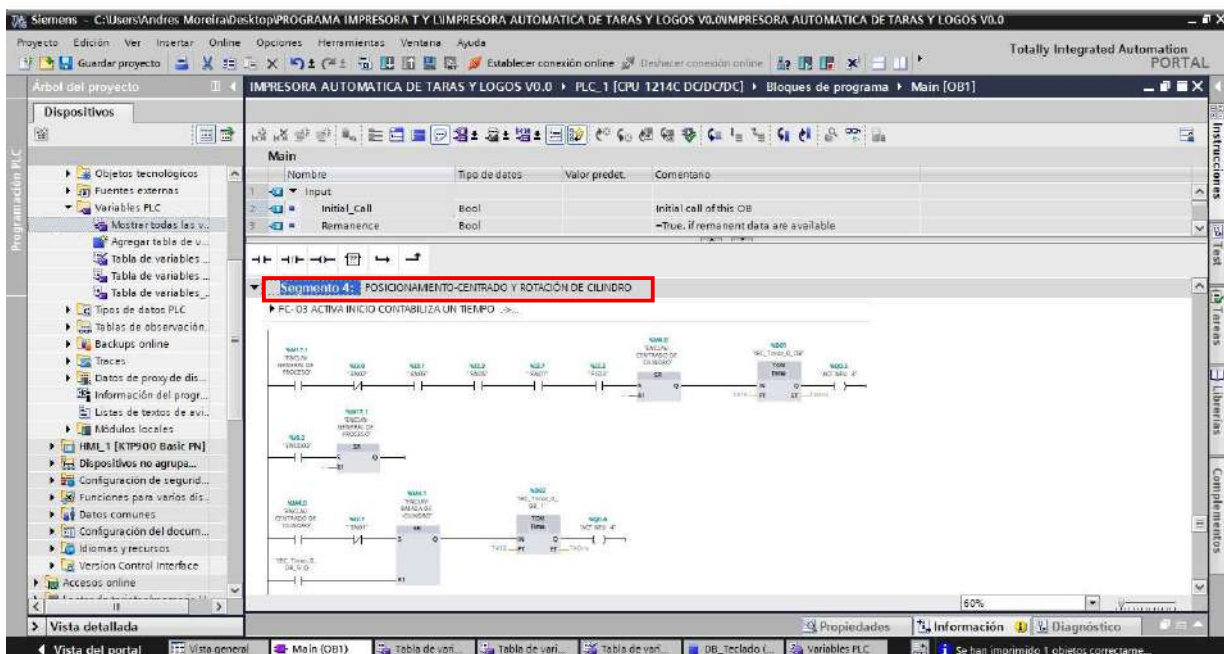
Nota. Elaboración propia.

Posicionamiento y Centrado de cilindro

La etapa de centrado y posicionamiento constituye una operación fundamental para la calidad del proceso, mediante una secuencia de control cerrada. Este proceso se inicia con la detección del objeto a través del sensor inductivo o de proximidad -FC03 (%I2.5), el cual activa la subrutina de centrado mediante el actuador neumático ACT NEU-03 (%Q0.5). La función de este actuador es el cierre de los rodillos de posicionamiento, permitiendo el bloqueo del cilindro en un eje concéntrico respecto a la estación de impresión, para asegurar una transición fluida y evitar esfuerzos mecánicos bruscos, la lógica del PLC emplea bloques de memoria de enclavamiento (ENCLAV-CENTRADO DE CILINDRO %M4.0) y temporizadores de retardo TON (IEC_Timer_0_DB), los cuales condicionan el paso a la siguiente fase solo cuando se ha verificado la estabilidad física del componente mediante la señal de retroalimentación del sensor -SN01 (%I2.7).

Una vez garantizada la inmovilización del cilindro, el sistema procede a la fase de acoplamiento y rotación motorizada, gestionada por una cascada de eventos temporizados y señales de flanco. La activación del actuador ACT NEU-04 (%Q0.6) permite el descenso de la copa de sujeción, movimiento que es validado por el sensor -SN02 (%I3.0) para evitar colisiones durante la rotación; Al confirmarse el descenso, se dispara un flanco de subida (P_TRIG) que, tras un intervalo de seguridad de 500 ms gestionado por el temporizador DB3, energiza la salida digital correspondiente al motor trifásico MOT TRIF-1 (%Q2.5). Esta arquitectura de control, basada en el uso de instrucciones Set/Reset (SR) y marcas de estado como ENCLAV - ROTACIÓN (%M4.2), permite una sincronización exacta entre la presión neumática de contacto y el torque del motor, asegurando que la rotación necesaria para la impresión se realice bajo parámetros de velocidad constantes y sin deslizamientos cinemáticos.

Figura 42
Segmento 4- Posicionamiento centrado y rotación de cilindro.



Nota. Elaboración propia.

Programación de variador WEG CFW300.

Para complementar el control dinámico del sistema de rotación se realizó la programación del variador de frecuencia de la serie WEG CFW de acuerdo a la Tabla 38, un dispositivo electrónico de potencia diseñado para la gestión eficiente de motores de inducción trifásicos, este componente actúa como el nexo entre la lógica digital del PLC Siemens y la respuesta mecánica del motor, permitiendo una modulación precisa de la frecuencia y el voltaje para alcanzar una velocidad constante y controlada durante la rotación del cilindro para su posicionamiento.

Su correcta programación asegura la estabilidad del proceso mediante la programación de arranques y frenados rápidos (parámetros P0100 y P0101), que aseguran que el cilindro no sufra desplazamientos inerciales al iniciar el giro, la integración se efectúa mediante una interfaz de control por bornes, donde la señal de habilitación proveniente de la salida Q2.5 del PLC es procesada para ejecutar la secuencia de rotación solo tras la validación de los sensores de posicionamiento. De este modo, el variador no solo optimiza el consumo energético del sistema, sino que garantiza una repetibilidad operativa indispensable para la calidad del acabado final, protegiendo la integridad del motor frente a posibles sobrecargas o fallos de fase durante ciclos de trabajo intensivos.

Tabla 38

Parámetros de programación para variador WEG CFW-300.

Parámetro	Descripción	Valor sugerido	Justificación Técnica
P0220	Local/Remoto	1 (Remoto)	Permite que el PLC tome el control.
P0222	Ref. Velocidad Remota	0 (Teclas)/ 1(AI1)	Define si la velocidad es fija.
P0263	Función Entrada DI1	1 (Gira/Para)	Asigna la señal In.
P0100	Tiempo Aceleración	1,0 s - 2.0 s	Ajusta rampa ascendente.
P0101	Tiempo Desaceleración	1,0 s	Ajusta rampa descendente.
P0401	Corriente Motor	Según placa	Protección térmica del motor trifásico.

La visualización en el HMI se sincroniza mediante la lectura de estas direcciones de memoria. El panel permite al operador monitorear no solo el valor actual que está digitando, sino también visualizar las posiciones previamente guardadas en el histórico. Las animaciones de apariencia en el HMI proporcionan una retroalimentación visual inmediata; los campos de entrada cambian de color (verde para válido, rojo para inválido), lo que reduce significativamente la fatiga del operador y el riesgo de errores de digitación durante jornadas extensas de producción.

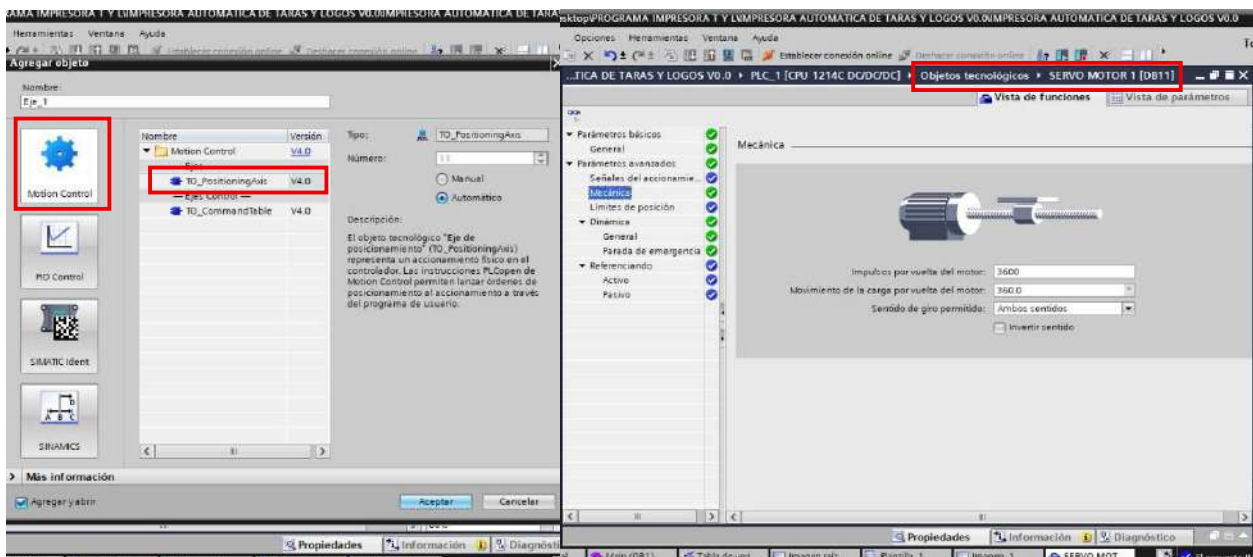
Marcación de logotipo y tara

La impresión del logotipo se define como un ciclo de aproximación neumática controlada de acuerdo con la Figura 44, al detectarse la estabilización del cilindro en la etapa previa, el PLC activa la salida ACT NEU-5 (%Q0.7). Esta señal desplaza el cabezal porta logotipo hacia la superficie tangencial del cilindro, la seguridad se garantiza mediante el sensor de proximidad -SN03 (%I3.1), el cual actúa como una condición de realimentación (feedback); si el cabezal no alcanza la posición de contacto en el tiempo previsto, el enclavamiento %M5.0 detiene la secuencia para evitar impresiones incompletas.

El bloque DB3 gestiona un tiempo de contacto de 500 ms, necesario para que la viscosidad de la tinta permita una transferencia óptima sin chorreo. Para la etapa de marcación de tara según referencia de la Figura 43, a diferencia del logotipo, integra un mecanismo de variables externas, la entrada de datos del operario desde el pedestal de digitación, el proceso se desglosa en tres etapas funcionales; el operario digita el valor de la tara (Ejemplo 4,0 se asume el uno, es decir 14,0), esta información es procesada por el PLC, que traduce el valor numérico en una posición angular específica dentro de un disco de caracteres dispuestos de manera radial, mismo que será acercado al cilindro de manera neumática, es decir, mediante el uso de un actuador neumático.

bloques de función tecnológicos como MC_MOVE_ABSOLUTE para desplazar el disco; el servomotor referenciado mediante MC_HOME, se mueve a la posición exacta en función de la tara seleccionada, garantizando una precisión de centésimas de milímetro gracias a la retroalimentación del encoder integrado, una vez que el servomotor confirma la posición (señal Done), se habilita el actuador ACT NEU-6 (%Q1.0). Este cilindro neumático presiona el disco contra el producto. El sensor -SN04 (%I3.2) monitorea el despliegue, y tras un breve periodo de permanencia gestionado por el temporizador DB10, se activa la "MARCA RETORNO TARA" (%M5.1) para liberar la pieza.

Figura 45
Objeto tecnológico Motion Control.



Nota. Elaboración propia.

Configuración del Servomotor Xinje y Control de Movimiento

El posicionamiento del cilindro para el marcado de tara y logo depende de un servomotor Xinje serie DS5, controlado mediante tecnología de control de movimiento (Motion Control) de Siemens que genera pulsos rápidos para el control del servomotor, mismo que se configura en modo de control por pulsos (Parámetro P0-01 = 6), donde el PLC actúa como maestro enviando señales de Pulse (PUL) y Direction (DIR).

Para la puesta en marcha es necesario configurar las constantes mecánicas en TIA Portal, por ejemplo, Se define que 10,000 pulsos equivalen a una revolución completa del motor, la cual se traduce mediante una relación de transmisión a un desplazamiento lineal preciso, la comunicación de validación y habilitación del servo a seguridad del servo está gestionada por el bloque (MC_Power), ya que permite poner el sistema en modo (RUN-) Es vital que este bloque detecte la ausencia de alarmas de hardware y que los finales de carrera (soft limits) estén debidamente parametrizados para evitar colisiones mecánicas.

La ejecución del movimiento se realiza mediante la instrucción (MC_MoveAbsolute), responsable del ingreso de pulsos para el giro del servo motor, estos pulsos, serán los responsables de generar el movimiento necesario para el funcionamiento del servomotor según sea necesario , en este caso , dado que el servo tiene movimientos relativamente reducidos debido a que el disco de taras solo gira 360, rango en el cuas se ubican los números para la marcación; se deberá generar pulsos en el rango de los 10000 divididos en 20 posibilidades de taras con lo que el sistema de digitación y marcación se complementaría de manera correcta. Debe establecerse el parámetro P0-10 en 2 para habilitar la lógica de "Pulso y Dirección", la cual es el estándar de comunicación PTO (Pulse Train Output), utilizado por los PLC de Siemens, es vital que la resolución de impulsos por revolución, definida en los parámetros P0-11 y P0-12, sea idéntica a la configurada en el software de programación del PLC para garantizar que los desplazamientos mecánicos correspondan exactamente a las unidades de medida programadas.

En esta configuración se deben definir los límites de velocidad, aceleración y deceleración que el motor es capaz de soportar según su carga, antes de realizar la puesta en marcha definitiva, se aconseja ejecutar una prueba de movimiento manual mediante la función JOG (F1-01) desde el panel frontal del drive; esto permite confirmar que el

cableado de potencia y la retroalimentación del encoder son correctos antes de ceder el control total a la lógica del PLC.

Liberación y conteo de cilindros

El ciclo productivo culmina con la etapa de liberación y evacuación controlada, la cual se activa tras la validación de la marca de retorno de marcación (%M5.1), una vez finalizado el proceso de impresión, el autómatas ejecuta el reset de los enclavamientos de sujeción, ordenando la apertura de los rodillos de centrado y la retracción de los mecanismos de bloqueo. Para asegurar un flujo constante hacia las estaciones posteriores, se acciona el actuador de paso ACT NEU-11 (%Q2.3), cuya operación está supeditada a un temporizador de retardo a la desconexión (TOF). Este componente de software garantiza que el cilindro abandone completamente el área de trabajo antes de que el sistema se reestructure para un nuevo ciclo, evitando colisiones o errores de lectura en los sensores de presencia.

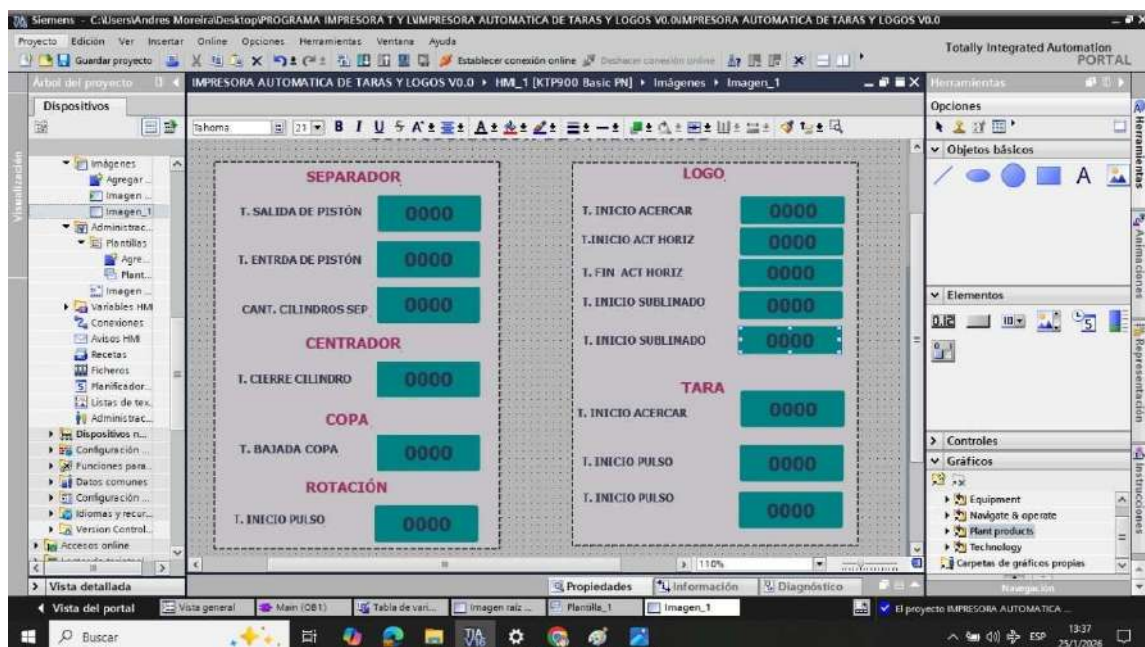
Simultáneamente a la evacuación del cilindro, el sistema desempeña una función crítica de supervisión mediante la gestión de indicadores de productividad en tiempo real, utilizando bloques de conteo ascendente (CTU), el PLC registra cada ciclo de impresión exitoso al detectar el flanco de subida de la señal de retorno del actuador de tara, estos datos se almacenan en registros remanentes que alimentan la interfaz HMI, permitiendo al operario visualizar la producción diaria acumulada y realizar reinicios manuales al inicio de cada turno de trabajo, lo que facilita en gran medida de contadores y temporizadores transforma a la máquina en una unidad de diagnóstico capaz de reportar métricas de eficiencia, permitiendo que la liberación del producto no sea solo el fin de un proceso mecánico, sino el inicio de una cadena de datos para la gestión administrativa de la planta.

Interfaz HMI

La Interfaz Hombre-Máquina o (HMI) es parte importante del funcionamiento global del sistema ya que funciona como la capa de supervisión y configuración rápida, actuando como una unidad central donde los datos operativos se transforman en comandos lógicos para el PLC S7-1200, su programación permite que el operario gestione variables críticas como el valor de la tara o tiempos de permanencia según se aprecia en la Figura 46, mediante objetos de entrada numérica vinculados a bloques de datos remanentes, este proceso de digitalización es fundamental para el control de movimiento, ya que el sistema escala el valor ingresado en la pantalla a unidades de pulso exactas, permitiendo que el objeto tecnológico MC_MoveAbsolute posicione el disco de caracteres con una precisión milimétrica a través del servomotor Xinje DS5F.

Figura 46

Imagen Raíz HMI - Ingreso y configuración de parámetros.



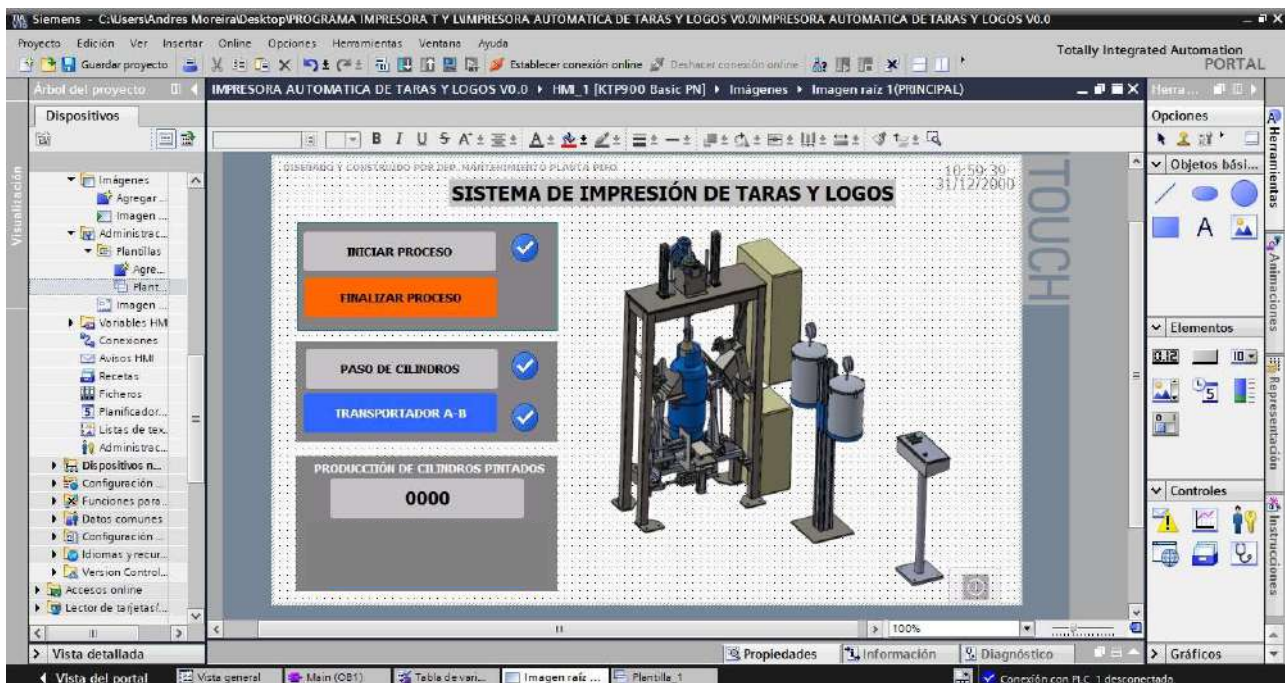
Nota. Elaboración propia.

El panel HMI deja de ser un simple monitor para convertirse en una herramienta de configuración dinámica que adapta la máquina a las necesidades de producción en tiempo real, este equipo desempeña un rol crucial en el diagnóstico preventivo y el control

de la productividad, a través de la visualización de señales de entrada y salida, el operario puede monitorear el estado de los sensores de proximidad (-SN01 al -SN05) y la activación de los actuadores neumáticos, facilitando la detección inmediata de anomalías mecánicas.

El sistema integra además una gestión de alarmas vinculada al enclavamiento general (%M17.1), notificando visualmente cualquier interrupción en el ciclo de trabajo, pérdida de secuencia o errores en la ejecución de funciones, la interfaz presenta el conteo de producción diaria acumulado por los bloques (CTU) tal y como se puede apreciar en la Figura 47, la imagen raíz del equipo permite conocer parámetros de producción así como ingresar pulsos para iniciar proceso o finalizar proceso, también permite recibir validaciones que confirman que el proceso efectivamente se encuentra iniciado, generando la retroalimentación al operario cuando algo no está en funcionamiento.

Figura 47
Imagen Raíz HMI – Arranque y visualización de producción

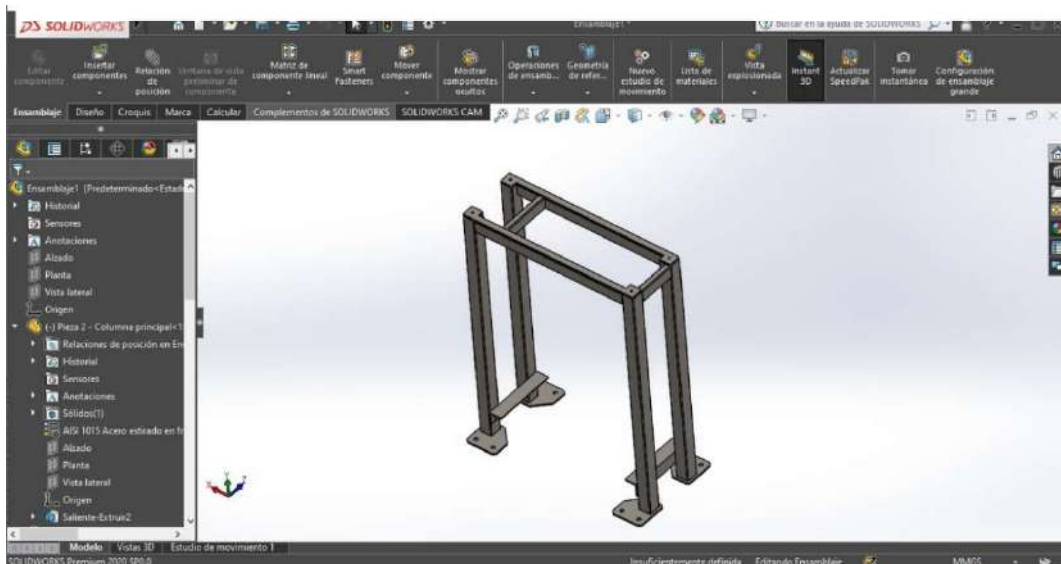


Nota. Elaboración propia.

Ensamblaje de sistemas Mecánicos, Neumáticos y Eléctricos

Al igual que el diseño de los diferentes elementos mecánicos que conformaran el sistema, para el ensamble de todos los componentes y sub ensamblajes previamente diseñados se hizo uso de SolidWorks como herramienta para acoplar los componentes en un sistema completo, este proceso se desarrolló bajo la metodología de ingeniería Bottom-Up, según (Covell, 2022), esta metodología se basa en la priorización individual de cada componente previo a su integración a un sistema completo, lo que permite una transición controlada desde el diseño de componentes individuales hasta la consolidación del prototipo virtual completo. La fase inicial del ensamblaje se dio con el sistema estructural Anexo 11, al que se fijó al origen de coordenadas de la interfaz gráfica tal y como lo representa la Figura 48, estableciendo una referencia espacial inicial para asegurar la integridad de las simulaciones posteriores.

Figura 48
Posicionamiento de subensamblaje estructural.



Nota. Elaboración propia.

A partir de esta base sólida, se procedió a la inserción de diferentes componentes y subensamblajes, tales como el mecanismo de centrado de cilindro o el de rotación, lo que permitió ejecutar cada fase de manera ordenada y asegurar que cada perno, placa y

actuador estuviera posicionado con una tolerancia dimensional adecuada a las necesidades del diseño, esto también reduce drásticamente la probabilidad de errores de interferencia durante la corrida de las simulaciones del sistema.

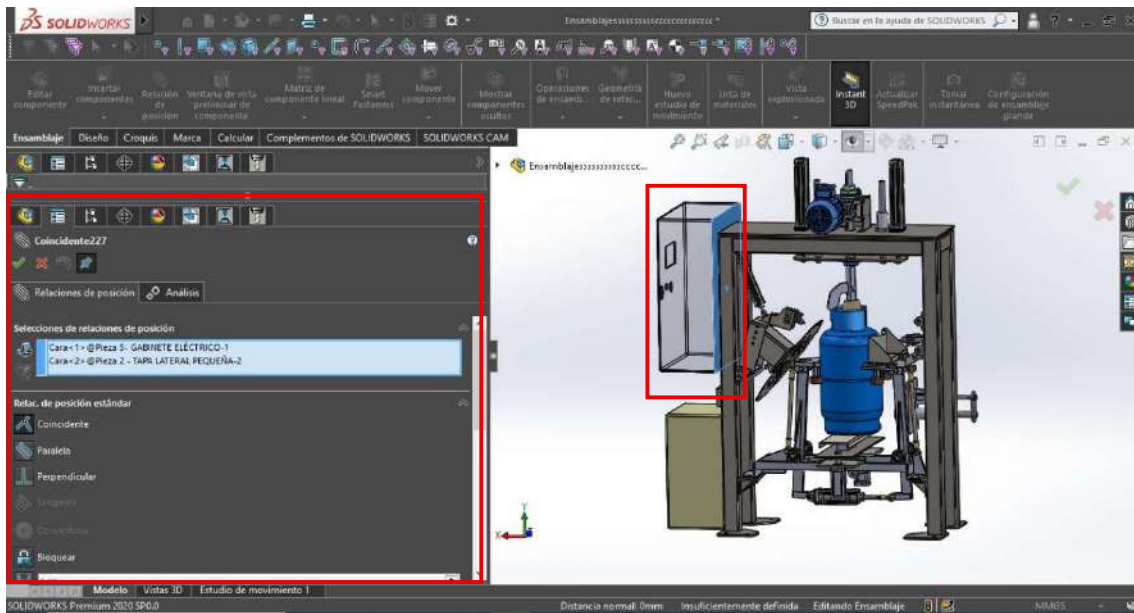
La restricción de los grados de libertad de cada componente se ejecutó mediante la aplicación de relaciones de posición, mismas que actúan como sistemas de ecuaciones geométricas que gobiernan la relación entre componentes y el comportamiento cinemático de estas. Las principales relaciones de posición fueron;

- Relaciones de concetricidad para alineación de ejes, rodillos, o alojamientos diametral mente cilíndricos, asegurando una rotación concéntrica esencial para movimiento como el centrado del cilindro.
- Relaciones de coincidencia y paralelismo para fijar los actuadores neumáticos a sus respectivas placas de soporte, mientras que las relaciones avanzadas de distancia permitieron limitar el recorrido de los pistones a sus valores nominales de fábrica.

Esta manera de ensamblaje garantiza la integración entre elementos estáticos y móviles del sistema; también establece las bases para la simulación de movimiento, permitiendo verificar que los mecanismos de impresión de logotipos y taras se desplacen exclusivamente en los ejes deseados sin desviaciones laterales que comprometan la precisión o incrementen el riesgo de colisiones. Un ejemplo claro de las relaciones de posición y su uso en el ensamblaje del sistema diseñado se puede apreciar en la Figura 49, en la que se coloca una relación de posición coincidente para instalar el gabinete eléctrico a la estructura principal del sistema.

Figura 49

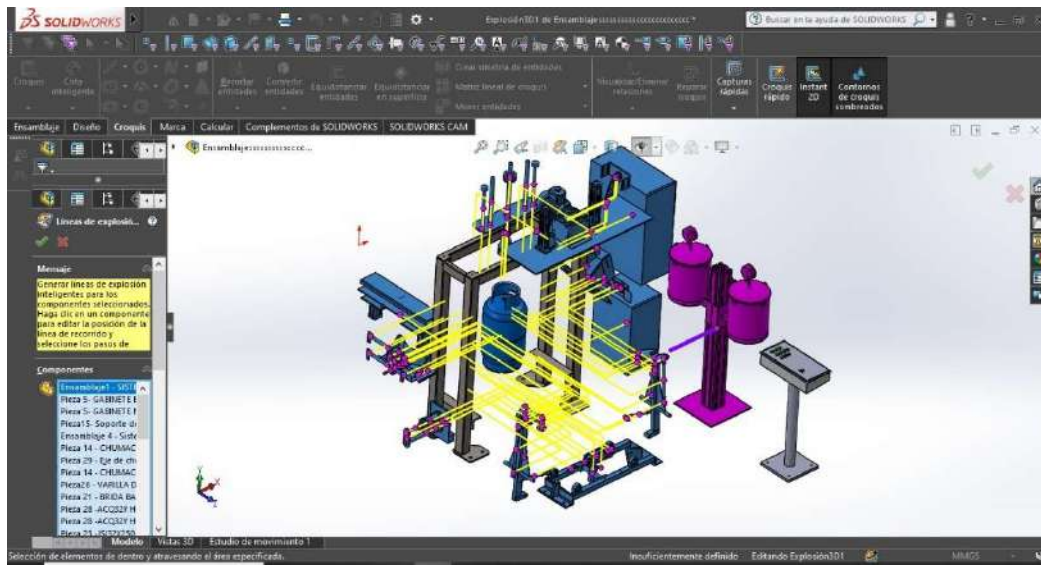
Relaciones de posición en ensamblaje de componentes y subensamblajes.



Nota. Elaboración propia.

Una vez que todos los sistemas se integraron en la interfaz gráfica del programa, se condensa el ensamblaje en un plano general y visual de acuerdo con el Anexo 26 y Anexo 28 en el que se aprecia cada componente y subensamblaje creado para ejecutar las tareas necesarias hasta el término del proceso de impresión de taras y logotipos. Al haber construido el ensamblaje con reacciones de posición cuyo mapa se puede apreciar en la Figura 50, se busca conseguir un ensamblaje que pueda ser simulado bajo las mismas condiciones mecánicas a las que estaría expuesto en condiciones de operación reales y con ello, permita garantizar que el sistema propuesto cumple con las condiciones de calidad y tiempo de operación, así como la seguridad hacia el personal operativo que será responsable de la máquina en caso de que, esta se implemente.

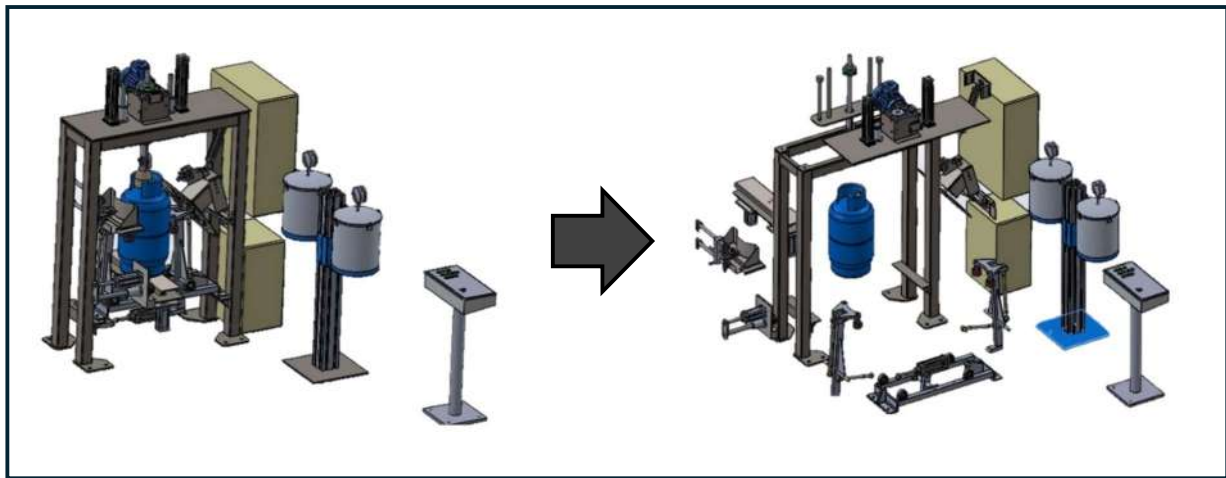
Figura 50
Mapa de relaciones de posición.



Nota. Elaboración propia.

Al establecer relaciones de posición de manera correcta se puede hacer uso de vistas explotadas en el entorno de SolidWorks como la Figura 51, constituyendo una herramienta de ingeniería fundamental para documentar la arquitectura interna del sistema de impresión. En el marco de este proyecto, este recurso facilita la comprensión de la interacción mecánica entre los diferentes elementos que componen el equipo, las vistas explotadas definen la jerarquía de despiece indispensable para la identificación de repuestos además, al desglosar el conjunto en sus partes constitutivas, se evidencia la accesibilidad de componentes críticos como como actuadores y elementos mecánicos complementarios, permitiendo simular procesos de reparación o sustitución en un entorno virtual antes de la intervención física. Esta capacidad de visualización dinámica minimiza los tiempos de parada de planta y asegura la sostenibilidad operativa del equipo, transformando un modelo tridimensional complejo en una guía técnica clara que optimiza tanto la fase de construcción como la futura asistencia técnica de la máquina automatizada.

Figura 51
Vista explotada de componentes.



Nota. Elaboración propia.

Pruebas de simulación con integración de sistemas

El diseño y validación de la máquina de marcado comienza con la retroalimentación entre diferentes programas de simulación y diseño como SolidWorks (Diseño y simulación global del sistema), TIA Portal (programación y simulación de sistemas de control), estos softwares permiten gestionar de manera muy exacta el funcionamiento final de los sistemas y valida que estos cumplan con los requisitos de funcionalidad y operatividad al tener la posibilidad de correr simulaciones se puede asegurar que los elementos seleccionados cumplen con los parámetros y requisitos de funcionamiento y hacer las modificaciones o ajustes necesarios, en los escenarios en los que existan fallas que impidan ejecutar la tarea de manera correcta, esto representa un ahorro de recursos y garantiza que una posible implementación se pueda efectuar sin errores.

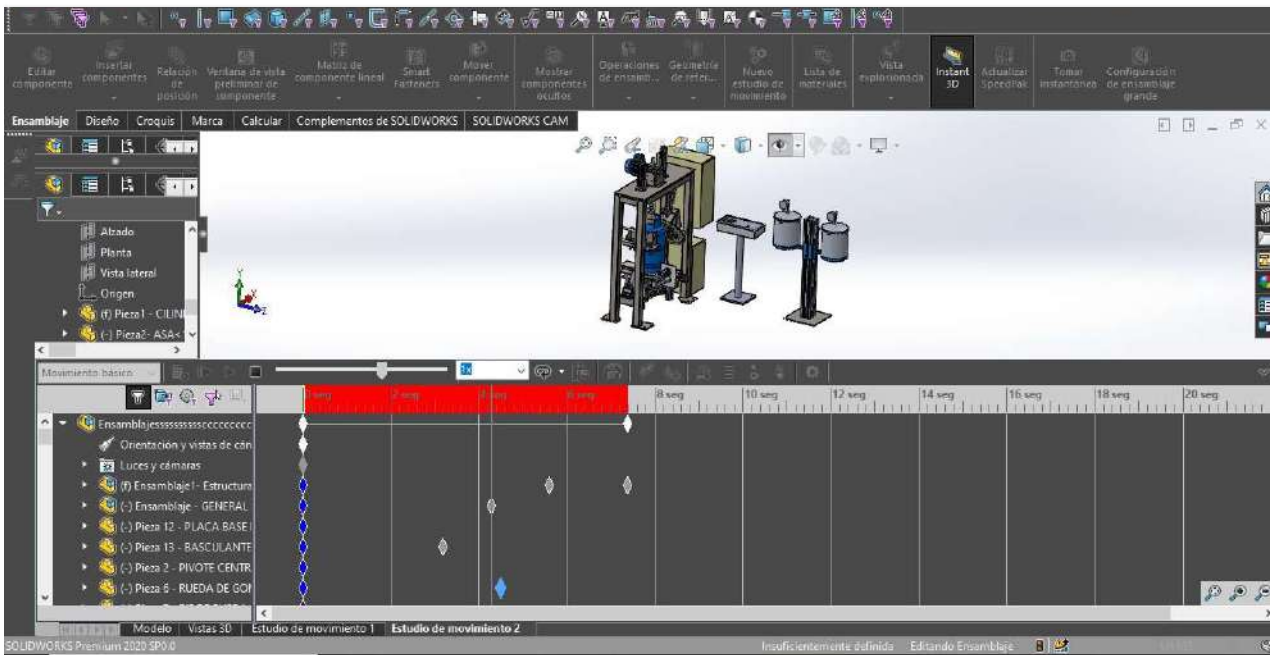
El análisis dinámico de la máquina de impresión automática se llevó a cabo mediante el módulo SolidWorks Motion tal como se puede apreciar en la Figura 52, el cual permite trasladar un modelado geométrico estático a una validación funcional basada

en un entorno visual denominado como “Análisis de Movimiento”, el cual integra propiedades físicas reales como la influencia de la gravedad.

La simulación permitió modelar con precisión el comportamiento de los servomotores y actuadores neumáticos mediante la aplicación de motores lineales y rotativos con perfiles de velocidad trapezoidales; esto facilitó la detección temprana de interferencias dinámicas y colisiones que no son perceptibles en un diseño estático, al analizar la cinemática de los mecanismos se aseguró que las trayectorias de marcado para las taras y logotipos mantengan una tangencia constante respecto a la curvatura del cilindro, garantizando así la calidad de la impresión y la integridad estructural de los componentes móviles bajo condiciones de operación continua.

Más allá de la validación visual, el estudio de movimiento proporcionó datos cuantitativos esenciales para la justificación técnica de la selección de componentes electromecánicos del sistema, lo que permite cronometrar con exactitud el tiempo de proceso o (Cycle Time), proporcionando una base comparativa sólida para demostrar la eficiencia de la automatización frente a los métodos manuales anteriormente empleados, este enfoque de validación virtual no solo minimiza el riesgo de fallas catastróficas durante la construcción del prototipo físico, sino que también respalda la viabilidad económica del proyecto al optimizar el uso de recursos y garantizar que el diseño cumple con los requisitos de productividad y precisión industrial exigidos.

Figura 52
Simulación - estudio de movimiento de sistema.

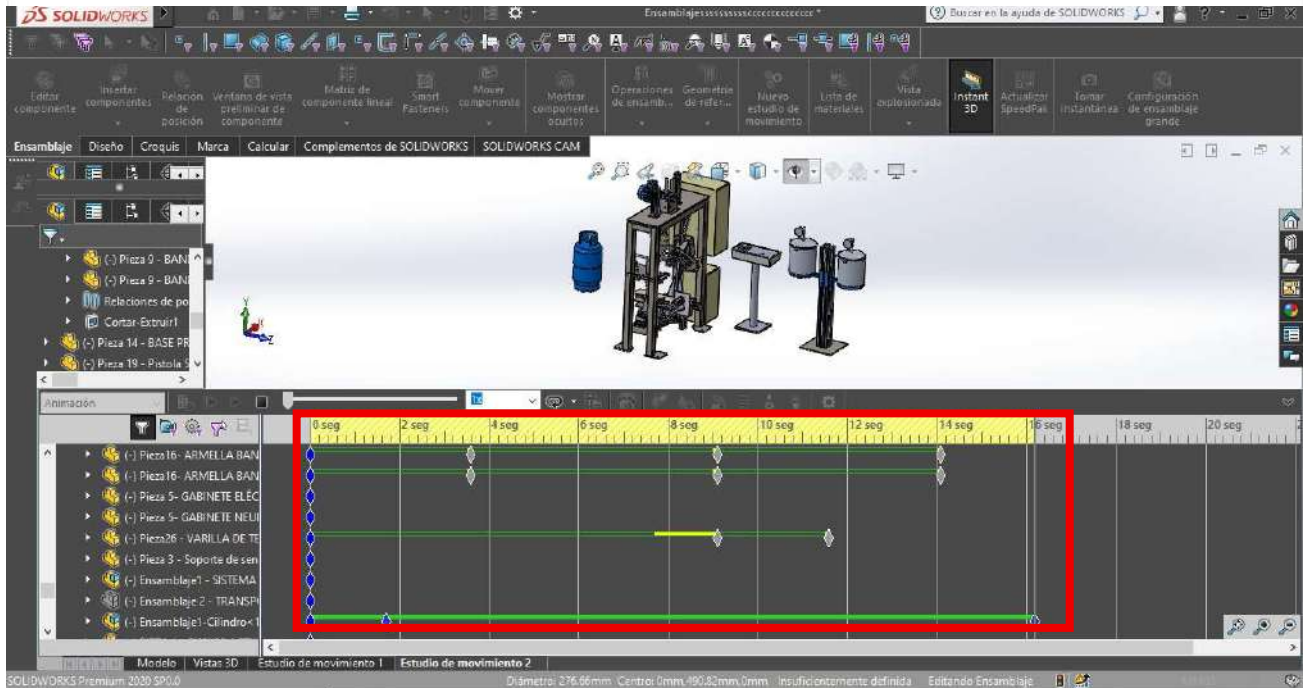


Nota. Elaboración propia.

El análisis cinemático y dinámico del sistema propuesto se fundamenta en los resultados obtenidos mediante la herramienta SolidWorks Motion, la cual permitió validar un ciclo de trabajo optimizado con un tiempo de ejecución promedio de 16.1 segundos de acuerdo con la Figura 53. Este estudio de movimiento no solo constituye una representación visual, sino un cálculo matemático de trayectorias y tiempos de respuesta donde se integran todas las instancias que debe cumplir el proceso según diagrama de Figura 37, para ejecutar la tarea de principio a fin, la simulación se configuró para emular las condiciones reales de operación, utilizando motores y actuadores lineales que reemplacen cada movimiento de los actuadores y servomotores asegurando una operación fluida entre las instancias de ejecución.

Figura 53

Estudio con ejecución de cada fase del proceso (16 segundos).



Nota. Elaboración propia.

La secuencia de ejecución se divide en fases críticas que garantizan la precisión del marcado previo al ingreso de datos de tara por parte del operador , (1) el ciclo comienza con la separación e ingreso del cilindro donde un sistema de contención mecánica asegura el paso de una sola unidad, separando el cilindro y evitando colisiones en la línea de producción, (2) posteriormente se ejecuta el centrado del cilindro al generarse el cierre de rodillos, una etapa vital para alinear el eje vertical del cilindro con la copa de rotación y los cabezales de impresión, al estar alineado de manera correcta la copa inicia la fase de rotación sincronizada donde el motorreductor permite el giro controlado del cilindro hasta llegar al ángulo correcto para la impresión; de manera paralela mientras este movimiento se ejecuta, el servomotor realiza la rotación del disco de taras en la posición designada por la digitación previa del operario.

Una vez se ha dado el posicionamiento el siguiente paso es, (4) la impresión del logotipo y la tara, dos actividades individuales pero que se ejecutan al mismo tiempo con la activación individual de los actuadores encargados de acercar el disco de taras y la

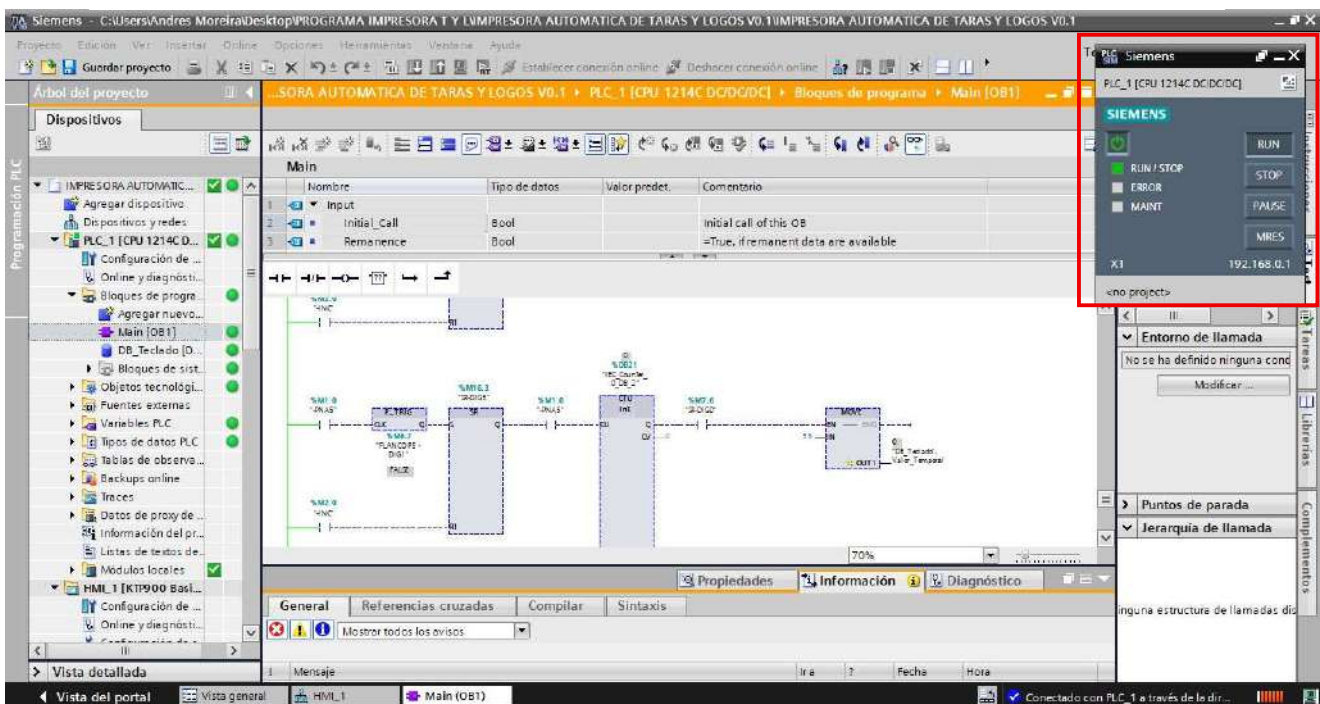
bandeja de logo; (5) la secuencia finaliza con la apertura del sistema de centrado permitiendo la liberación del cilindro marcado y retornando los actuadores a su posición inicial para comenzar un nuevo ciclo de forma inmediata.

Análisis de resultados esperados

Simulación de Sistemas de Control e Interfaz HMI en TIA Portal

La validación lógica y operatividad del sistema de control se llevó a cabo mediante la interfaz de simulación de TIA Portal, empleando la herramienta PLCSIM al igual que se evidencia en la Figura 54, con la finalidad de emular el comportamiento del controlador Siemens S7-1200, esta fase de simulación permitió sincronizar con precisión el código en lenguaje Ladder (KOP) con los tiempos de ejecución mecánica obtenidos previamente en SolidWorks, garantizando que cada etapa del ciclo de 16.1 segundos desde la separación hasta la liberación del cilindro se ejecute de forma secuencial y sin solapamientos o colisiones.

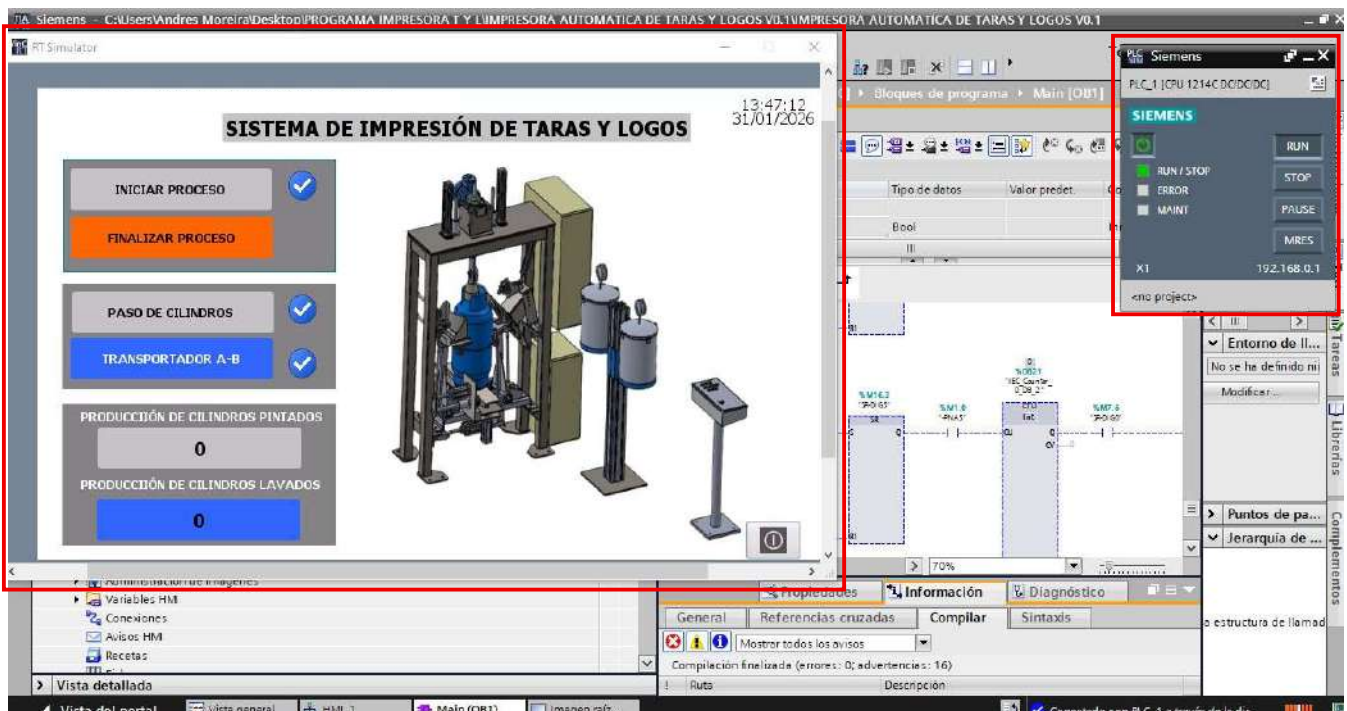
Figura 54
Simulación de programación con PLCSIM.



Nota. Elaboración propia.

Mediante el uso de tablas de observación y forzado de variables, se validaron las rutinas de seguridad, los enclavamientos de los servomotores y la respuesta de los sensores virtuales, en cuanto a la interacción hombre máquina se desarrolló y simuló una interfaz gráfica en la pantalla HMI KTP900 Basic orientada a optimizar la trabajabilidad y intuición del operario, al ejecutar la simulación de la Imagen Raíz y las pantallas secundarias de diagnóstico tal como se aprecia en Figura 55, se verificó un entorno de control intuitivo que permite al operario validar en tiempo real el estado del proceso, asegurando una capacidad de respuesta inmediata ante cualquier incidencia operativa reportada por el sistema de alarmas.

Figura 55
Simulador HMI y PLC SIM combinados.



Nota. Elaboración propia.

La integración de estas herramientas de simulación constituye una forma adicional de validar la fiabilidad del proyecto, al permitir el testeo de la lógica de control y la interfaz de usuario en un entorno virtual. Este enfoque del proyecto no solo respalda la factibilidad técnica de la automatización, sino que asegura que la máquina el diseño final

sea seguro y de fácil manejo, cumpliendo estrictamente con los objetivos de productividad, precisión y seguridad industrial planteados en este documento.

Ajustes en simulación de sistemas integrados

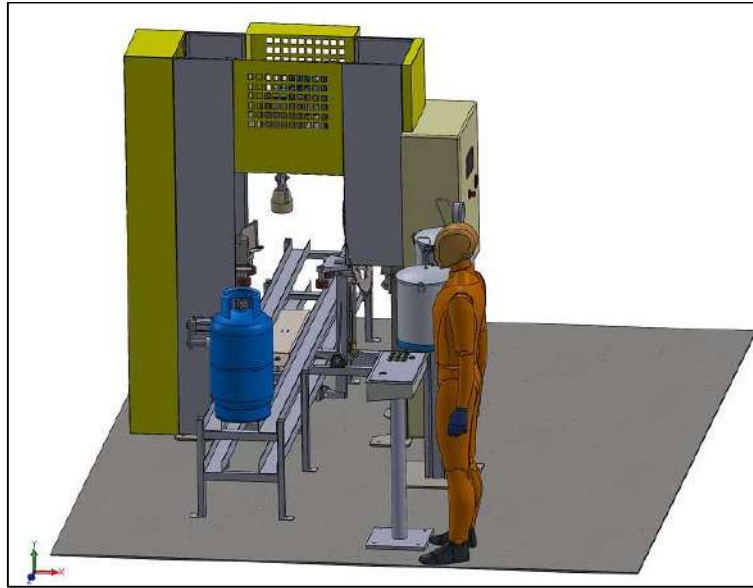
Con el objetivo de otorgar un mayor realismo técnico y facilitar la comprensión del flujo operativo, tal como se aprecia en la Figura 56, la simulación en SolidWorks fue mejorada mediante la integración de elementos periféricos esenciales como transportadores y un operador virtual, permitiendo mejorar la comprensión del diseño propuesto y la interacción entre el transporte de los cilindros y la zona de marcado. Al incluir la figura del operador en la gráfica se logró ejemplificar de manera visual y didáctica la escala de la maquinaria y la posición estratégica del personal frente al panel de control HMI, asegurando que todos los dispositivos de mando estén al alcance ergonómico del trabajador.

Un ajuste fundamental en este entorno integrado fue el diseño y la implementación de guardas de seguridad perimetrales, estas barreras fueron simuladas para blindar las zonas de mayor riesgo mecánico, como los puntos de giro de los servomotores y el desplazamiento de los actuadores neumáticos, estas protecciones tienen como fin primordial evitar que el operario pueda sufrir accidentes por atrapamiento o realice manipulaciones innecesarias dentro de la zona de operación activa.

La simulación previamente ejecutada no solo valida la eficiencia de los 16,1 segundos del ciclo de marcado, sino que también certifica que la estación de trabajo cumple con los requisitos de seguridad industrial, garantizando un entorno laboral libre de riesgos para el operador y el proceso.

Figura 56

Diseño de sistema con inclusión de ajustes.

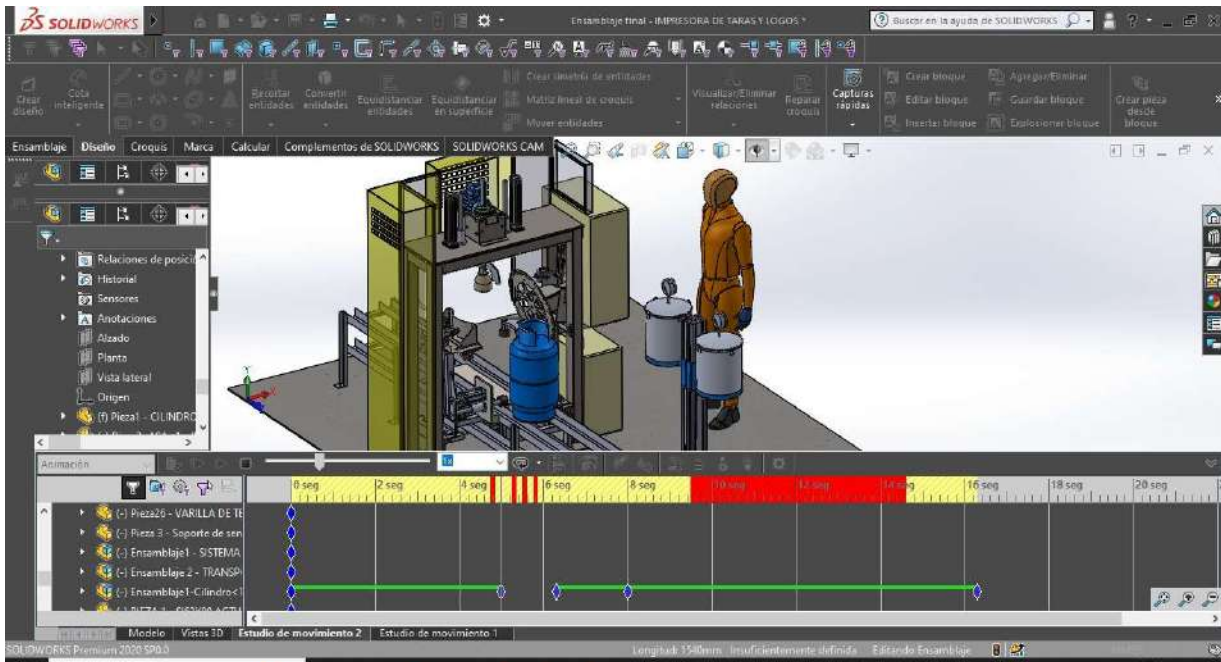


Nota. Elaboración propia.

Un pilar fundamental de esta investigación es la comparativa técnica entre el método actual y el propuesto. En el proceso manual, la marcación de taras y logotipos depende enteramente de la eficiencia del operario, lo que conlleva tiempos de ciclo altamente variables y una tendencia significativa al error humano; como impresiones borrosas o mal posicionadas que resultan en desperdicio de pintura y reprocesos, además, la manipulación física de los cilindros representa un riesgo ergonómico constante.

Por el contrario, el proceso automatizado reduce el tiempo de intervención a una cifra constante y predecible de 16.1 segundos por unidad detallados por fases en la Tabla 39 , garantizando la reducción de variaciones en la ubicación del logo y la legibilidad de la tara, impactando de manera positiva en la calidad del producto final, la transición hacia este sistema automatizado representa una mejora disruptiva en la eficiencia y seguridad del proceso; mientras que el método tradicional es lento y artesanal, la posible implementación del diseño validado en SolidWorks permitirá incrementar la capacidad de producción, reduciendo los costos derivados de errores de marcado.

Figura 57
Simulación final con elementos complementarios.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 39
Tiempos de ejecución del proceso por etapas.

Fase	Descripción Técnica	Tiempo (s)
1	Activación del actuador de retención y admisión de unidad.	4,03
2	Desplazamiento a la estación y alineación axial sobre rodillos.	1,27
3	Giro de cilindro y giro de disco en tara seleccionada	4,73
4	Reposicionamiento e impresión de logotipo de la envasadora.	3,78
5	Retracción de actuadores y liberación para nuevo ciclo.	2,29
Tiempo de ciclo completo		16,1 s

En el método actual, ejecutado de manera manual el proceso de impresión de logotipos y taras es lento y constituye el principal cuello de botella de la planta según los cursogramas analíticos de la Figura 13 y Figura 14, un operario tarda aproximadamente 44 segundos en imprimir el logotipo y 56,3 segundos en marcar la tara de forma manual, estas condiciones operativas se traducen en una producción diaria de entre 770 a 1000 cilindros reparados lo que limita la capacidad productiva e incrementa los costos de

operación, sobre todo porque la necesidad de reparación exige generar turnos extras y costos adicionales de alimentación y transporte.

Por otro lado, al realizar un análisis de cursogramas analíticos planteados en la Figura 58 y Figura 59, comparándolos con los cursogramas actuales podemos evidenciar que el sistema propuesto reduce significativamente los tiempos de ejecución, además, combina dos tareas en una sola reduciendo desplazamientos de cilindro y tiempos de espera, el sistema automatizado propuesto genera una reducción drástica de los tiempos, pasando de 56,3 a tan solo 16,1 segundos, siendo 3 veces más rápido y requiriendo menos recursos ya que solo necesita de un operario para ejecutar todo el proceso, para el caso del taller de reparación de cilindros se obtiene una reducción de un 19% en el tiempo de ejecución del proceso de reparación, mientras que en la nave de envasado la reducción de tiempos asciende a un 44%, siendo en el que se obtuvo un mayor impacto.

Los nuevos tiempos de ejecución permiten la eliminación del cuello de botella en flujo operativo dado que permite alcanzar una capacidad de producción de 1784 cilindros en solo un turno de 8 horas, lo que asegura el cumplimiento de los objetivos de producción que la compañía se ha planteado.

Figura 58

Cursograma analítico propuesto - proceso de reparación de cilindros.

CURSOGRAMA ANALÍTICO TALLER DE REPARACIÓN DE CILINDROS									
Hoja N°1 De:1 Diagrama N°:1					Operario ()		Material ()		Equipo (x)
Fecha: Octubre 2025					RESUMEN				
Proceso: Reparación de cilindro de 15 Kg					SÍMBOLO	ACTIVIDAD	Act.	Pro.	Econ.
					○	Operación	14	13	-7%
Producto: Tanque de GLP 15 Kg					⇒	Transporte	1	1	0%
					□	Inspección	1	1	0%
Método: Actual (X) / Propuesto ()					D	Espera	0	0	0%
Operario: Roberto Erazo					▽	Almacenaje	2	2	0%
Tamaño de lote : 1					Total de actividades realizadas		21	20	-5%
Elaborado por: Andres Moreira					Distancia total en metros		341,2	340,5	-0,2%
					Tiempo min / cilindro		7,6	6,2	-19%
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	CANTIDAD	DISTANCIA	TIEMPO SEG	SÍMBOLOS PROCESOS				
					○	⇒	□	D	▽
1	Trasladar cilindro de nave de envasado a TRC.	1	303	0,82		●			
2	Descargar cilindros en patio de TRC.	1	0,0	3,0					●
3	Inspeccionar cilindros (espesores, deformaciones, corrosion).	1	0,0	7			●		
4	Despresurizar cilindros con ataques rápidos.	1	0,0	30,0	●				
5	Colocar cilindro en transportador.	1	1,0	2,0	●				
6	Retirar válvula de GLP.	1	0,0	12,0	●				
7	Lavar e inertizar cilindros.	1	0,0	27,0	●				
8	Enderezar base de cilindro.	1	12,0	25,0	●				
9	Retiro de base de cilindro.	1	1,0	31,0	●				
10	Retiro de asa de cilindro.	1	1,0	32,0	●				
11	Montaje de asa de cilindro.	1	1,0	22,0	●				
12	Montaje de base de cilindro.	1	1,5	23,0	●				
13	Granallado de cilindro.	1	2,0	41,5	●				
14	Pintado electrostático.	1	2,3	36,7	●				
15	Curado de pintura electrostática.	1	11,0	36,0	●				
16	Colocar y ajustar de válvula de GLP.	1	2,5	16,0	●				
17	Impresión automática de logotipo empresarial y tara de cilindro.	1	0,3	16,0	●				
19	Inyección de aire presurizado de cilindro.	1	0,4	44,1	●				
20	Prueba de estanqueidad de cilindro.	1	0,5	34,8	●				
21	Bajar y apilar cilindro en zona de carga	1	1,0	10,0					●
Tiempo Segundos :		371,02			13	1	1	0	2
Distancia en metros :		340,5							

Nota. Estudio elaborado por el investigador.

Figura 59

Cursograma analítico propuesto proceso de retocado de cilindro.

CURSOGRAMA ANALÍTICO TALLER DE REPARACIÓN DE CILINDROS										
Hoja N°1 De:1 Diagrama N°:1			Operario ()	Material ()	Equipo (x)					
Fecha: Octubre 2025			RESUMEN							
Proceso: Reparación de cilindro de 15 Kg			SÍMBOLO	ACTIVIDAD	Act.	Pro.	Econ.			
			○	Operación	14	13	-7%			
Producto: Tanque de GLP 15 Kg			⇨	Transporte	1	1	0%			
			□	Inspección	1	1	0%			
Método: Actual (X) / Propuesto ()			D	Espera	0	0	0%			
Operario: Roberto Erazo			▽	Almacenaje	2	2	0%			
Tamaño de lote : 1			Total de actividades realizadas		21	34	62%			
Elaborado por: Andres Moreira			Distancia total en metros		341,2	340,5	-0,2%			
			Tiempo min / cilindro		7,6	6,2	-19%			
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	CANTIDAD	DISTANCIA	TIEMPO SEG	SÍMBOLOS PROCESOS					
					○	⇨	□	D	▽	
1	Trasladar cilindro de nave de envasado a TRC.	1	303	0,82		●				
2	Descargar cilindros en patio de TRC.	1	0,0	3,0					●	
3	Inspeccionar cilindros (espesores, deformaciones, corrosion).	1	0,0	7			●			
4	Despresurizar cilindros con ataques rápidos.	2	0,0	30,0	●					
5	Colocar cilindro en transportador.	1	1,0	2,0	●					
6	Retirar válvula de GLP.	1	0,0	12,0	●					
7	Lavar e inertizar cilindros.	1	0,0	27,0	●					
8	Enderezar base de cilindro.	1	12,0	25,0	●					
9	Retiro de base de cilindro.	1	1,0	31,0	●					
10	Retiro de asa de cilindro.	1	1,0	32,0	●					
11	Montaje de asa de cilindro.	1	1,0	22,0	●					
12	Montaje de base de cilindro.	1	1,5	23,0	●					
13	Granallado de cilindro.	2	2,0	41,5	●					
14	Pintado electrostático.	2	2,3	36,7	●					
15	Curado de pintura electrostática.	2	11,0	36,0	●					
16	Colocar y ajustar de válvula de GLP.	1	2,5	16,0	●					
17	Impresión automática de logotipo empresarial y tara de cilindro.	1	0,3	16,0	●					
19	Inyección de aire presurizado de cilindro.	6	0,4	44,1	●					
20	Prueba de estanqueidad de cilindro.	6	0,5	34,8	●					
21	Bajar y apilar cilindro en zona de carga	1	1,0	10,0					●	
Tiempo Segundos :			371,02		13	1	1	0	2	
Distancia en metros :			340,5							

Nota. Estudio elaborado por el investigador.

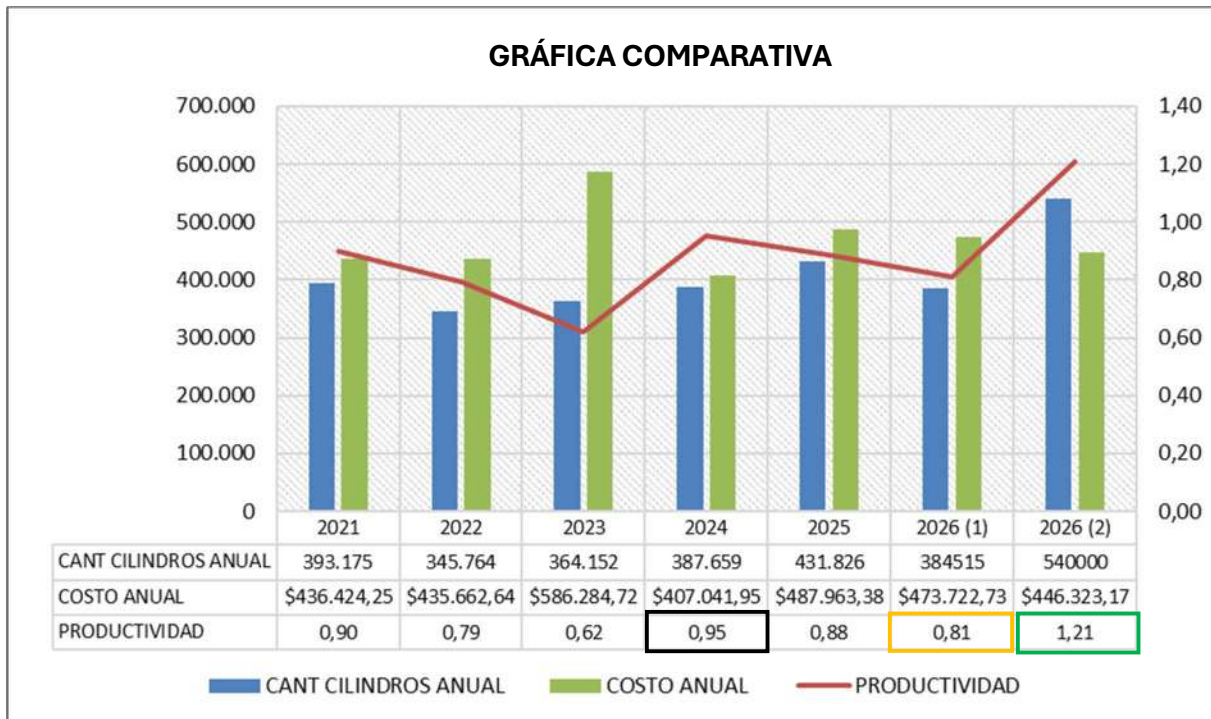
Uno de los impactos más evidentes es la reducción de las horas hombre necesarias para ejecutar la tarea ya que en el sistema manual, se requieren dos operarios trabajando simultáneamente para cubrir las estaciones de logo y tara y así mantener el flujo; Mientras que con la automatización el sistema integra ambas funciones en una sola estación

controlada por un PLC, lo que permite que un solo operario deba ingresar los datos de digitación desde el pedestal y controlar desde la pantalla HMI el proceso, esto representa un ahorro directo del 50% en costos de mano de obra específica para esta etapa, tomando en cuenta un salario básico de 482 dólares , beneficios y seguridad social; además de considerar que el trabajador labora en turnos de 12 horas por 28 días del mes, lo que implica un costo de aproximadamente 1286,63 dólares USD mensuales por operario, la empresa ahorraría al menos 15.439,56 dólares anuales.

Las inconsistencias y fallas constantes en la impresión manual de logotipos y taras conlleva reprocesos continuos, se estima que la tasa de error es del 3% sobre la producción anual cilindros, resultando en un promedio de 11,500 cilindros que deben volver a pintarse o corregirse por lo que al automatizar el proceso, el error humano se reduce casi por completo traduciéndose en un menor consumo de pintura, solventes y sobre todo, en el tiempo de los operarios que ya no tienen que corregir trabajos defectuosos, optimizando el costo de reparación por cilindro que actualmente es de 1.04 dólares equivalente a 11.960 dólares ahorrados al año.

Figura 60

Comparativa de productividad (unidad producidas/recursos invertidos)



Nota. Estudio elaborado por el investigador.

Tabla 40

Comparativa de datos proyectados vs sistema propuesto.

	Año						
	2021	2022	2023	2024	2025	2026 (1)	2026 (2)
Cant Cilindros x Año	393.175	345.764	364.152	387.659	431.826	384515	540000
Costo x Cilindro	1,11	1,26	1,61	1,05	1,13	1,232	\$ 0,83
Costo x Año	\$436.424	\$435.663	586.285	407.042	487.963	\$ 473.723	\$446.323
Productividad	0,90	0,79	0,62	0,95	0,88	0,81	1,21
						Proyectado	Propuesta

Al analizar la información obtenida en Figura 4, Figura 60 y Tabla 40, se puede evidenciar que el sistema propuesto genera una mejora evidente en la productividad pasando de 0,81 a 1,21 cilindros fabricados por cada dólar, dado que los costos operativos “recursos” se ven disminuidos tanto en mano de obra como en reprocesos, quipos de protección e insumos en general; mientras que la cantidad de cilindros producidos pueden llegar a los objetivos planteados por la compañía en el contexto del cumplimiento de

normativas (INEN, 2025) y la eliminación de posibles sanciones generadas por expedientes administrativos impuestos por los organismos de control como la ARCH regida por la (Ley de Hidrocarburos. Decreto Supremo No. 2967., 2023).

Seguridad y salud

La situación inicial de la planta presentaba niveles de riesgo críticos para la salud de los trabajadores según el diagnóstico realizado mediante el método REBA, las tareas de impresión manual fueron calificadas con puntajes de 9 (Riesgo Alto) para la impresión de logotipos y 11 (Riesgo Muy Alto) para el marcado de taras, estos valores indican que el operario se encuentra expuesto a posturas forzadas extremas, como la flexión del tronco superior a 60°, inclinaciones severas del cuello y movimientos repetitivos de las extremidades superiores generando una probabilidad inminente de lesiones osteomusculares crónicas y fatiga acumulada, lo que obligaba a la implementación de medidas correctivas inmediatas.

Con la implementación del sistema automatizado, el riesgo ergonómico se reduce a niveles inapreciables según análisis Figura 61, dado que el sistema propuesto asume la carga física del posicionamiento y rotulado de tara y logo en el cilindro, eliminando la necesidad de que el trabajador manipule plantillas o realice esfuerzos o posturas forzadas; el rol del operario se desplaza hacia la supervisión técnica desde una interfaz HMI y la digitación de las taras de los cilindros para su posterior impresión, lo que suprime las posturas incómodas y el contacto directo con la maquinaria en movimiento, el diseño también incluye mecanismos de contención y protección para elementos móviles, lo que previene accidentes por atrapamiento o golpes; a estas medidas de control se suman la reducción de la exposición a vapores de pintura y sustancias químicas ya que se incorporaron sistemas de aplicación controlada, consolidando un entorno de trabajo que cumple los estándares de seguridad para el operador.

Figura 61
Análisis REBA con el sistema propuesto.

IDENTIFICACIÓN

Fecha: 30/01/2026

Tarea: Impresión de logo y Tara

Empresa: ECUA GAS

Observaciones: DESCRIPCIÓN: El operar realiza la digitación de la tara



RIESGO de las POSTURAS

Subtarea	Postura	Frecuencia	Puntuación REBA	Nivel de Riesgo
Impresión de logo y Tara	El operador se encuentra en posición bípeda estable, con el cuerpo orientado de frente al panel o sistema de digitalización automatizada para la impresión del logo y tara	Media	1	Inapreciable

Interpretación de la puntuación REBA

Puntuación REBA	Nivel de Riesgo	Nivel de Acción
1	Inapreciable	0 - No necesaria
2-3	Bajo	1 - Puede ser necesaria
4-7	Medio	2 - Necesaria
8-10	Alto	3 - Necesaria pronto
11-15	Muy alto	4 - Necesaria AHORA

Evaluación realizada por: Andres Moreira

Ergo/IBV® incluye procedimientos de evaluación de riesgos ergonómicos y psicosociales que cumplen los criterios establecidos en el Artículo 5 del 'Reglamento de los Servicios de Prevención', y que se recogen en las 'Guías de Actuación' de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social (ITSS).

INFORME DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

DETALLE de la POSTURA

Subtarea Postura Frecuencia

Observaciones (postura) Referencia video

Grupo A	Grupo B																																										
<p>TRONCO</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Tronco erguido</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td>Giro - Inclinación lateral -</td> <td style="text-align: right;">5</td> </tr> </table> <p>CUELLO</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Flexión entre 0° a 20°</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td>Giro X Inclinación lateral -</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> </table> <p>PIERNAS</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>De pie con soporte bilateral</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td>Flex. rodilla 30-60° - >60° -</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> </table>	Tronco erguido	1	Giro - Inclinación lateral -	5	Flexión entre 0° a 20°	1	Giro X Inclinación lateral -	3	De pie con soporte bilateral	1	Flex. rodilla 30-60° - >60° -	4	<p>BRAZO</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Derecho</td> <td style="width:50%;"></td> <td style="text-align: center;">Izquierdo</td> </tr> <tr> <td>Desde 20° de ext a 20° de flex.</td> <td style="text-align: right;">1</td> <td style="text-align: right;">---</td> </tr> <tr> <td>Abducc. - Rotación -</td> <td style="text-align: right;">6</td> <td style="text-align: right;">Abducc. - Rotación -</td> </tr> <tr> <td>Hombro elevado -</td> <td style="text-align: right;">6</td> <td style="text-align: right;">Hombro elevado -</td> </tr> <tr> <td>Apoyado / a favor gravedad X</td> <td style="text-align: right;">6</td> <td style="text-align: right;">Apoyado / a favor gravedad -</td> </tr> </table> <p>ANTEBRAZO</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Flexión 60-100°</td> <td style="text-align: right;">1</td> <td style="text-align: right;">---</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">2</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> </table> <p>MUÑECA</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Flexión/Extensión >0° y 15°</td> <td style="text-align: right;">1</td> <td style="text-align: right;">---</td> </tr> <tr> <td>Giro - Desv lateral -</td> <td style="text-align: right;">3</td> <td style="text-align: right;">Giro - Desv. lateral -</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">3</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> </table>	Derecho		Izquierdo	Desde 20° de ext a 20° de flex.	1	---	Abducc. - Rotación -	6	Abducc. - Rotación -	Hombro elevado -	6	Hombro elevado -	Apoyado / a favor gravedad X	6	Apoyado / a favor gravedad -	Flexión 60-100°	1	---		2	2	Flexión/Extensión >0° y 15°	1	---	Giro - Desv lateral -	3	Giro - Desv. lateral -		3	3
Tronco erguido	1																																										
Giro - Inclinación lateral -	5																																										
Flexión entre 0° a 20°	1																																										
Giro X Inclinación lateral -	3																																										
De pie con soporte bilateral	1																																										
Flex. rodilla 30-60° - >60° -	4																																										
Derecho		Izquierdo																																									
Desde 20° de ext a 20° de flex.	1	---																																									
Abducc. - Rotación -	6	Abducc. - Rotación -																																									
Hombro elevado -	6	Hombro elevado -																																									
Apoyado / a favor gravedad X	6	Apoyado / a favor gravedad -																																									
Flexión 60-100°	1	---																																									
	2	2																																									
Flexión/Extensión >0° y 15°	1	---																																									
Giro - Desv lateral -	3	Giro - Desv. lateral -																																									
	3	3																																									
<p style="text-align: right;">Tabla A</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: right;">1</td> <td style="text-align: right;">9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">=</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Puntuación A</td> <td style="text-align: right;">12</td> </tr> </table> <p>FUERZA / CARGA</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>< 5 kg</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>Fuerza repentina o brusca -</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> </table>	1	9	+	0	=	1	Puntuación A	12	< 5 kg	0	Fuerza repentina o brusca -	3	<p style="text-align: right;">Tabla B</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: right;">1</td> <td style="text-align: right;">9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">=</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Puntuación B</td> <td style="text-align: right;">12</td> </tr> </table> <p>AGARRE</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Bueno</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> </table>	1	9	+	0	=	1	Puntuación B	12	Bueno	0		3																		
1	9																																										
+	0																																										
=	1																																										
Puntuación A	12																																										
< 5 kg	0																																										
Fuerza repentina o brusca -	3																																										
1	9																																										
+	0																																										
=	1																																										
Puntuación B	12																																										
Bueno	0																																										
	3																																										
<p style="text-align: right;">Tabla C</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: right;">1</td> <td style="text-align: right;">12</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">=</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Puntuación REBA</td> <td style="text-align: right;">15</td> </tr> </table> <p>ACTIVIDAD</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Estática (mantenida > 1 min)</td> <td style="text-align: right;">-</td> </tr> <tr> <td>Repetida (> 4 veces/min)</td> <td style="text-align: right;">-</td> </tr> <tr> <td>Cambios posturales / base inestable</td> <td style="text-align: right;">-</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">Nivel de Riesgo Inapreciable</p> <p style="text-align: right;">Nivel de Acción No es necesaria</p>		1	12	+	0	=	1	Puntuación REBA	15	Estática (mantenida > 1 min)	-	Repetida (> 4 veces/min)	-	Cambios posturales / base inestable	-																												
1	12																																										
+	0																																										
=	1																																										
Puntuación REBA	15																																										
Estática (mantenida > 1 min)	-																																										
Repetida (> 4 veces/min)	-																																										
Cambios posturales / base inestable	-																																										

Nota. Estudio elaborado por el investigador.

Cumplimiento normativo

Dado que el proceso se desarrolla en una planta de GLP, las condiciones de seguridad son muy exigentes debido a las atmósferas explosivas, por lo que el diseño del sistema cumple con las normativas NFPA 58 y NFPA 70, garantizando que los componentes eléctricos y electrónicos posean barreras de seguridad intrínseca ya que se han seleccionado voltajes de operación de (12 y 24 VDC) y componentes con certificaciones de protección para atmósferas Clase 1, División 2. Esta consideración técnica asegura que el sistema automatizado no se convierta en una fuente de ignición, protegiendo tanto la integridad física de los empleados como la infraestructura de la empresa.

El sistema integra dispositivos de seguridad activa para responder ante cualquier anomalía operativa por lo que se incluyeron paradas de emergencia de alta visibilidad diseñadas para evitar rearmes accidentales y garantizar la detención inmediata del proceso en condiciones de riesgo. Asimismo, el tablero de control cuenta con protecciones térmicas y fusibles cerámicos calculados con márgenes de seguridad superiores al 25%, y gabinetes con grado de protección IP65 para resistir las condiciones ambientales industriales.

Análisis técnico económico

Costo aproximado del sistema propuesto

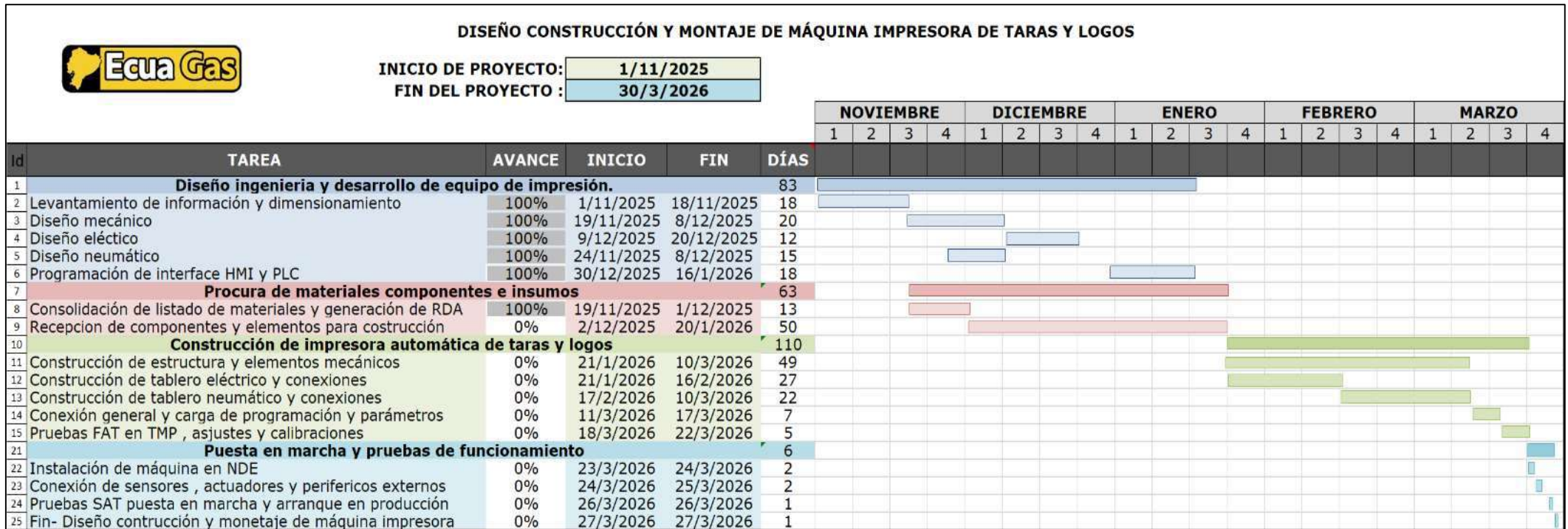
El presupuesto para la adquisición del hardware y componentes del sistema automatizado se divide en cuatro categorías principales obtenidas en la etapa de selección de componentes y tecnología para el proyecto: (componentes mecánicos, componentes de Control y Operación, componentes neumáticos y componentes eléctricos). Para obtener información de costos aproximados de cada componente, se solicitaron proformas a proveedores según se aprecia en la Figura 62, esto con el propósito de conocer la inversión

que se debería realizar para llevar a cabo el proyecto, en el caso de la oferta analizada, el costo de materiales y componentes tecnológicos necesarios ajustados a los precios de Ecuador es de 13.080 dólares aproximadamente.

Para proyectar correctamente los costos de mano de obra es necesario conocer las diferentes etapas del proceso y los tiempos estimados en los que se llevara a cabo la fabricación de la máquina, en este contexto se trabajó en una planificación basada en un diagrama de Gantt Figura 63, este diagrama permite estructurar las fases del proyecto y sus y sus tiempos de entrega, también permite controlar y comunicar de manera más eficiente los avances del proyecto, recursos, tiempos y cuellos de botella que pueden afectar al cumplimiento de los objetivos, este diagrama servirá como una base para cuantificar los tiempos necesarios que van desde el diseño de sistema automatizado para la impresión de taras y logotipos en cilindros de GLP de 15 Kg hasta su implementación en el sitio de trabajo.

Figura 63

Diagrama de Gantt - Impresora automática de taras y logotipos.



Nota. Estudio elaborado por el investigador.

Bajo los criterios establecidos en la estructura del diagrama de Gantt, se generaron los rubros que intervendrán en la ejecución del proceso constructivo del sistema propuesto, estos montos se han estructurado en: Materiales Figura 62, Mano de obra Tabla 41, Consumibles y energía

Tabla 42. Se estima que la fabricación del sistema propuesto tome un aproximado de 129 días sin considerar la espera por recepción de materiales, por tanto, los cálculos de mano de obra y consumos energéticos se han determinado tomando como base esos tiempos, en cuanto a la mano de obra se consideraron los salarios que la compañía paga a cada trabajador en según el cargo y responsabilidad representado en la Tabla 39.

Tabla 41

Rubros por concepto de mano de obra.

Cargo	Tareas Específicas	Días Tot.	Salario	Subtotal
Ingeniero	Dirección y control del proyecto	129	\$ 800	\$ 3.440,00
Supervisor	Supervisión de personal y control de fabricación	116	\$ 500	\$ 1.933,33
Mecánico	Estructura, neumática y montaje preliminar	66	\$ 485	\$ 1.067,00
Tornero	Construcción de elementos mecánicos	49	\$ 485	\$ 792,17
Electricista	Tableros eléctricos y conexiones	29	\$ 485	\$ 468,83
TOTAL MANO DE OBRA				\$ 7.701,33

Tabla 42

Rubros por concepto de consumibles y energía.

Rubro	Costo Mensual	Subtotal
Energía Eléctrica, máquinas y soldadura	\$ 110,00	\$ 473,00
Agua y Servicios básicos	\$ 20,00	\$ 86,00
Insumos y Consumibles, soldadura, discos, brocas	\$ 70,00	\$ 301,00
Gastos Administrativos y Logísticos	\$ 40,00	\$ 172,00
TOTAL GASTOS OPERATIVOS		\$ 1.032,00

La Tabla 43, permite conocer la aproximación del coste total que tendría el proyecto si la compañía decidirá implementarlo, se puede apreciar también el porcentaje o ponderación que cada uno de los rubros cubre dentro del proceso, teniendo que el 60% de la inversión se aplicaría a la compra de materiales y tecnología.

EL costo aproximado de la máquina también sugiere que la inversión se podría recuperar en su totalidad, dentro de 1 o 2 años considerando el impacto que tendría sobre la mano

de obra requerida y sobre la productividad, al minimizar los reprocesos y los tiempos de operación, resultando una propuesta muy viable.

Tabla 43

Costo global de proyecto.

Categoría	Subtotal	Porcentaje
Materiales y Componentes (Cotización)	\$ 13.080,62	59,964%
Mano de Obra (Ejecución)	\$ 7.701,33	35,305%
Gastos de Operación y Energía	\$ 1.032,00	4,731%
INVERSIÓN TOTAL ESTIMADA	\$ 21.813,95	100%

Con la finalidad de corroborar de manera efectiva el impacto y la viabilidad de implementación de la propuesta es importante realizar un análisis de factibilidad económica orientado a cuantificar la rentabilidad de la inversión de \$21.813,95, mediante el cálculo del (VAN) valor actual neto obtenido de ecuación (15) y el (TIR) Tasa Interna de Retorno, con ello se busca evaluar el impacto financiero de los ahorros anuales proyectados en \$27.399,56, derivados de la optimización de mano de obra y la eliminación de reprocesos.

Este estudio utiliza una Tasa Máxima Aceptable de Retorno (TMAR) del 12% para descontar los flujos de caja a un horizonte de cinco años, Este valor se establece considerando el costo de oportunidad del capital en el sector industrial de hidrocarburos en Ecuador que normalmente ronda el 9%, sumado a una prima de riesgo asociada a la implementación tecnológica en el sector hidrocarburífero de 3% permitiendo determinar con precisión el periodo de recuperación del capital y la riqueza adicional generada por la implementación del proceso automatizado propuesto en el presente estudio.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t}$$

$$\text{AÑO 1} = \frac{27.399,56}{(1 + 0,12)^1} = 24.463,89$$

$$\text{AÑO 2} = \frac{27.399,56}{(1 + 0,12)^2} = 21.842,76$$

$$\text{AÑO 3} = \frac{27.399,56}{(1 + 0,12)^3} = 19.502,47$$

$$\text{AÑO 4} = \frac{27.399,56}{(1 + 0,12)^4} = 17.412,92$$

$$\text{AÑO 5} = \frac{27.399,56}{(1 + 0,12)^5} = 15.547,25$$

$$VAN = 98.769,29 - 21.813,95$$

Para calcular el PRI o periodo de recuperación de la inversión se calculó mediante la fórmula

$$VAN = 76.955,34$$

(15)

Dado que el VAN es mayor a cero, el proyecto no solo recupera la inversión y cubre el 12% de interés, sino que genera una ganancia adicional de \$ 76.955,34 en 5 años en función a las condiciones previamente presentadas. En cuanto al cálculo del TIR se usó la formula (16) y el método de interpolación, obteniendo al final de todas las iteraciones un valor de 123,35 % lo que significa que, por cada dólar invertido el proyecto rinde mucho más que otras alternativas, justificando plenamente la automatización.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

(16)

$$0 = -21.813,95 + \frac{27.399,56}{(1 + TIR)^1} + \frac{27.399,56}{(1 + TIR)^2} \dots \dots \dots + \frac{27.399,56}{(1 + TIR)^5}$$

$$TIR = 123,35\%$$

(17) cuyo resultado es 0,80 años, lo que equivale a 9 meses y dos semanas, superando las expectativas de recuperación habituales.

$$PRI = \frac{I_0}{F}$$

$$PRI = \frac{21.813,95}{27.399,56} = 0,80 \text{ AÑOS}$$

Según la Tabla 44, se pueden apreciar los valores resultantes del análisis, a estos resultados se suma la relación del costo beneficio equivalente a 4,53 \$ por cada dólar invertido, ratificando que el diseño propuesto no solo soluciona los cuellos de botella operativos y los riesgos ergonómicos identificados, sino que constituye un activo altamente productivo con una capacidad de generación de ahorro que triplica la inversión en su primer ciclo de vida.

Tabla 44

Detalle de valores resultantes del análisis ejecutado.

Indicador	Descripción	Valor
CAPEX	Inversión inicial para implementación de proyecto.	\$ 21.813,95
OPEX	Ahorro operativo por eficiencia y reducción de mano de obra.	\$ 27.399,56
VAN	monto incremental neta a 5 años.	\$ 76.955,34
RCB	Relación costo beneficio por cada dólar invertido.	\$ 4,53
TIR	Tasa de rendimiento interno que iguala el flujo al costo de inversión.	123,35%
PRI	Periodo de recuperación de inversión.	0,80 años

Capítulo IV

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

1. El análisis realizado mediante diferentes mecanismos de recolección y análisis, permitieron identificar que el método manual de impresión de taras y logotipos constituyen el principal cuello de botella del proceso debido a tiempos de reparación de 56.3 y 44.0 segundos respectivamente, reprocesos por producto no conforme y riesgos ergonómicos a los operarios; generando índices de productividad deficientes de entre 0.81 y 0.88 cilindros fabricados por cada dólar, por lo que al establecer esta línea base, se evidenció una oportunidad de mejora importante en el proceso de la cual se derivó la propuesta de un sistema automatizado.
2. Mediante la aplicación de la metodología QFD, se tradujeron los requerimientos del cliente en los parámetros técnicos que fundamentaron el diseño final entre los que destaca la integración de un control centralizado mediante PLC S7-1200 y una interfaz HMI de 7", así como un sistema de adquisición de datos por digitación cuyos porcentajes de importancia son de 19% y 20% respectivamente, el sistema permite alcanzar una capacidad de producción de 1.784 cilindros en 8 horas, superando el requisito inicial de 1.750 con una importancia del (20%), en cuanto a la perspectiva económica, el diseño se validó con un costo de adquisición de \$ 21.813, el cual se justifica plenamente al proyectar un retorno de inversión (PRI) de solo 0,80 años equivalente a 9.6 meses y una tasa interna de retorno (TIR) de 123,75%, estos indicadores se suman al incremento de la productividad de 0,81 a 1,21 cilindros por cada dólar invertido, confirman que el diseño no solo cumple con la seguridad y normativa vigente, sino que optimiza la productividad.

Con lo que se concluye que el diseño cumple en su totalidad con las características y objetivos de productividad y seguridad planteados durante el desarrollo de la presente investigación.

3. Al integrar herramientas de simulación como el Solid Works y el Tía Portal, se validó el comportamiento del sistema automatizado antes de su implementación física, reduciendo errores y garantizando el cumplimiento de los objetivos del diseño, los resultados obtenidos confirman una reducción sustancial de los tiempos de ejecución pasando de 100,3 en dos operaciones a 16 segundos en una operación unificada que reduce la necesidad de 1 operario e incrementa la productividad, misma que pasó de una proyección para el 2026 de 0,81 a 1,21 cilindros fabricados por cada dólar.

Conclusión General

El diseño del sistema automatizado para la impresión de taras y logotipos cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados en cuanto a productividad, calidad y seguridad, transformando un proceso manual en una operación de manufactura automática sin necesidad de ejecutar implementaciones que no hayan sido previamente simuladas y comprobadas, con lo que se reducen riesgos

Recomendaciones

1. Se recomienda una transición inmediata del método de impresión manual al sistema automatizado propuesto, ya que de esta manera se priorizando la eliminación de los tiempos altos de ejecución que actualmente estrangulan la línea de producción, esta implementación representa una mejora de flujo y una medida correctiva esencial para erradicar los riesgos ergonómicos y reducir la tasa de producto no conforme.

2. Si bien la metodología QFD ha establecido los parámetros y requisitos técnicos y funcionales del sistema, es recomendable trabajar con herramientas de simulación, que faciliten la comparación con otros equipos y mecanismos, sin tener que incurrir en gastos adicionales y validando la calidad del sistema a obtener. Esto también facilita los análisis económicos para una futura etapa de implementación.
3. Tras haber validado el sistema mediante herramientas de simulación, se recomienda que la transición hacia la implementación se realice mediante un protocolo de puesta en marcha escalonada ya que, si bien la simulación garantiza una reducción de tiempos a 16 segundos, es vital realizar pruebas en el entorno real para ajustar posibles variables mecánicas, eléctricas o de control no previstas, como por ejemplo la variación de cilindros por asa, base y cuerpo deformados.

BIBLIOGRAFÍA

- National Fire Protection Association. (2023). *NFPA 70: National Electrical Code* (Ed. 2023). NFPA.
- National Fire Protection Association. (2024). *NFPA 58: Liquefied Petroleum Gas Code* (Ed. 2024). NFPA.
- Barrera, J. R. A., Torres, Y. E. S., & Alarcón, L. A. V. (2024). La Tecnología y su Impacto en la Gestión de Procesos y Estrategias de Automatización. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 6198-6221.
<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/12822>
- Loeffler, M., Engel, U., Willner, K., Beyer, F., & Merklein, M. (2018). Investigation of the tribological behaviour of microstructures for controlling the material flow in

sheet-bulk metal forming. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 22, 66-75.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1755581718300294>

- MARTINEZ, D. M. A. (2023). *El impacto de la industria 4.0 en la historia y que se puede esperar a futuro con la industria 5.0* (Doctoral dissertation, Universidad Militar Nueva Granada).

<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/9cbd960f-dcef-4d4c-ad20-f7a3e7a0c720/content>

- Rashad, O., Attallah, O., & Morsi, I. (2022). A smart PLC-SCADA framework for monitoring petroleum products terminals in industry 4.0 via machine learning. *Measurement and Control*, 55(7-8), 830-848.

<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/00202940221103305>

- Xu, Y., Zheng, B., & Guo, B. (2024). How do industrial robots affect the total factor productivity in manufacturing enterprises?. *Journal of the Knowledge Economy*, 1-37.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13132-024-02508-5>

- Alarcón, O. M. G., & Cortés, N. L. G. (2025). *Estrategias avanzadas para la gestión de la producción*. Editorial Universidad Militar Nueva Granada-UMNG.

https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=UQpqEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA8&dq=cuellos+de+botella+y+colas+de+espera+en+produccion+&ots=f3Jw06inkH&sig=IxhiVNHmrvham4rzAnGorLKCnwM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- De Oca, H. C. M. (2021). Evolución del concepto calidad y aporte al desarrollo regenerativo desde la estrategia empresarial. *Revista perspectiva empresarial*, 8(2), 48-64.

<https://revistas.ceipa.edu.co/index.php/perspectiva-empresarial/article/view/717/969>

- Landeta, J. M. I., & Cortés, C. B. Y. (2013). Aplicación del QFD a la industria refresquera de San Luis Potosí, México. *Hitos de Ciencias Económico Administrativas*, 19(53), 7-16.

<https://revistahitos.ujat.mx/hitos/es/article/view/133>

- Palomino, C. M. (2018). *Diseño de plantas industriales*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

https://escuelaesam.pe/biblioteca/assets/uploads/libro_689e6962ce3f2.pdf

- National Fire Protection Association. (2021). *NFPA 79: Standard for electrical equipment for industrial machinery* (2021 ed.). National Fire Protection Association.

<https://www.nfpa.org/standards/nfpa-79>.

- García-Alcaraz, J. L., Martínez-Loya, V., & Díaz-Reza, J. R. (2022). Productividad y competitividad en los sistemas industriales: Un enfoque en la mejora continua y reducción de costos. Editorial Académica Española.

- **Schneider Electric. (2023).** *Guía de diseño de instalaciones eléctricas según la norma IEC 60364*. Schneider Electric Press.

<https://15f8034cdff6595cbfa1->

<1dd67c28d3aade9d3442ee99310d18bd.ssl.cf3.rackcdn.com/04422d24271abec52042f58>

a558069bf/guia_diseno_instalaciones_electricas_2008.pdf

- Covell, D. M. (2022). *Top-down & bottom-up approaches to robot design*. West Virginia University.

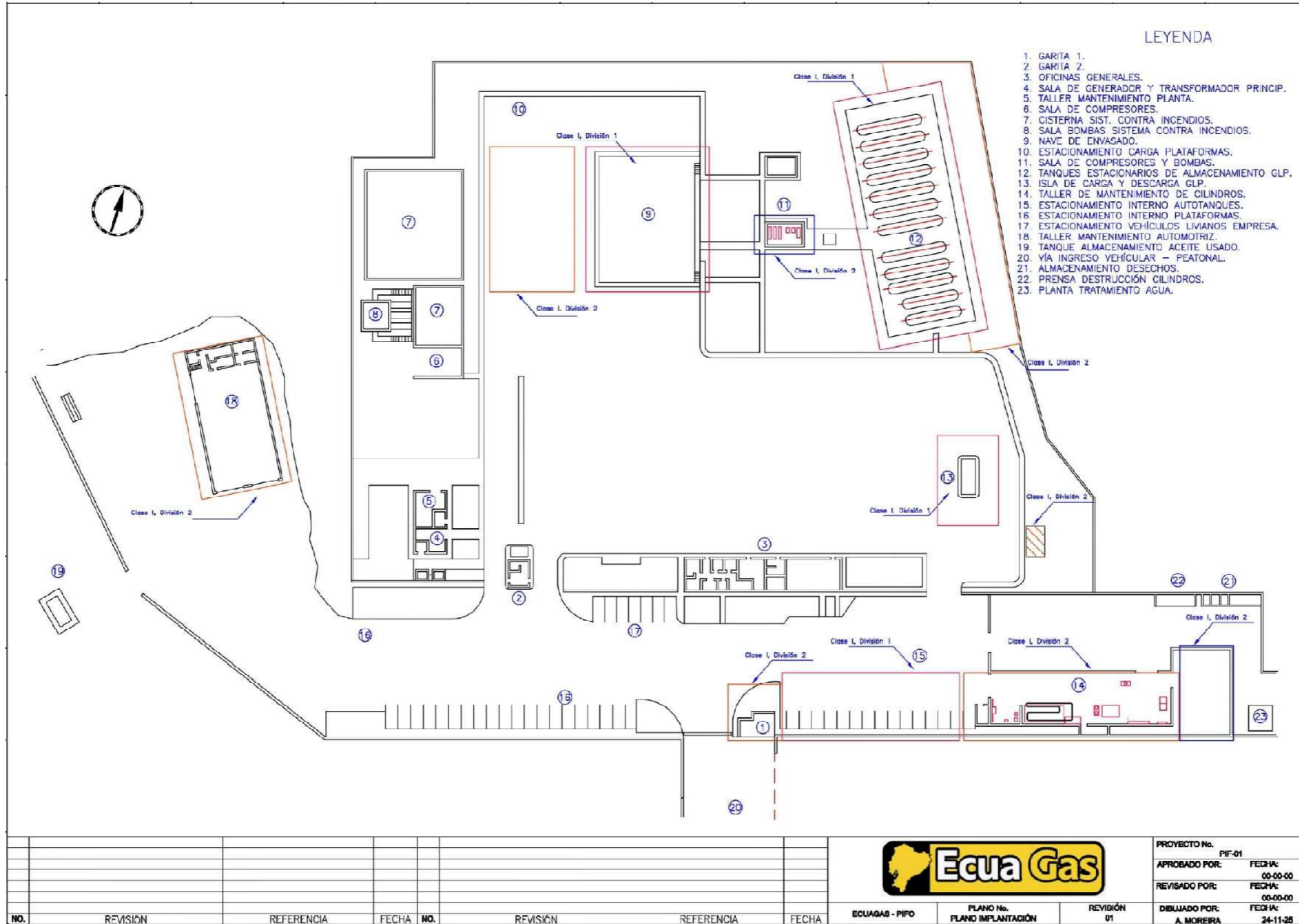
<https://www.proquest.com/openview/c29be6b8a08d22014debeb5e0c65f4df/1?pq->

<origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>

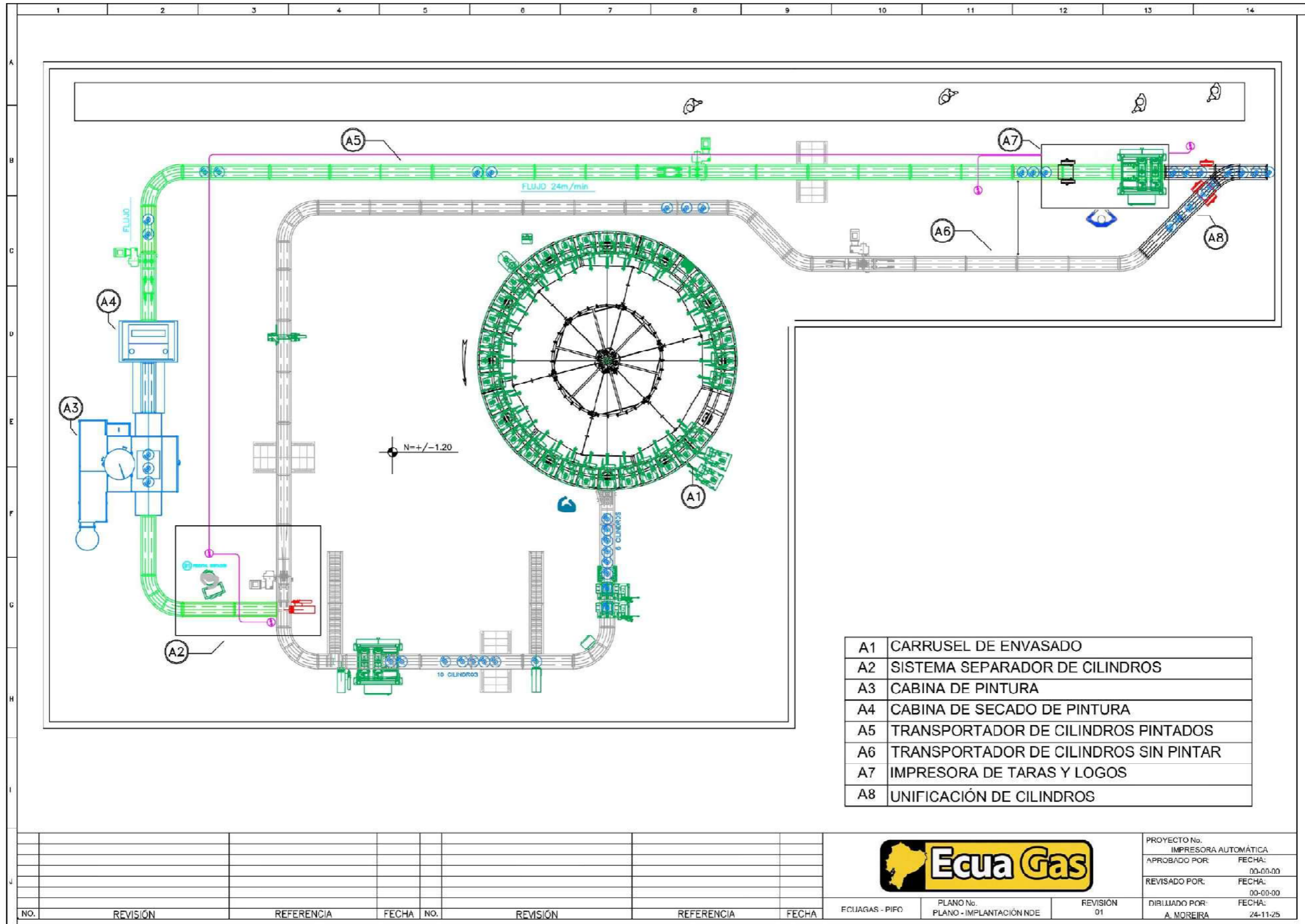
- Ecuador. (1978). *Ley de Hidrocarburos. Decreto Supremo No. 2967*. Registro Oficial No. 711. (Reformada en 2023).

ANEXOS

Anexo 1
Plano de implantación de áreas Ecuagas Pifo.



Anexo 2
Layout de nave de envasado.



Anexo 3

Ficha técnica PLC S7-1200 siemens.

SIEMENS

Hoja de datos

6ES7214-1AG40-0XB0

Siemens
EcoTech



SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU compacta, DC/DC/DC, E/S Integradas: 14 DI 24 V DC; 10 DO 24 V DC; 2 AI 0-10 V DC, alimentación: DC 20,4-28,8 V DC, memoria de programas/datos 150 KB



Figura similar

Información general	
Designación del tipo de producto	CPU 1214C DC/DC/DC
Versión de firmware	V4.7
Ingeniería con	
• Paquete de programación	STEP 7 V20 o superior
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
• 24 V DC	SI
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Protección contra inversión de polaridad	SI
Tensión de carga L+	
• Valor nominal (DC)	24 V
• Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
• Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	500 mA; Solo CPU
Consumo, máx.	1 500 mA; CPU con todos los módulos de amplificación
Intensidad de cierre, máx.	12 A; con 28,8 V
PI	0,5 A ² s
Intensidad de salida	
Para bus de fondo (5 V DC), máx.	1 600 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
Alimentación de sensores	
Alimentación de sensores 24 V	
• 24 V	L+ menos 4 V DC mín.
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	12 W
Memoria	
Memoria de trabajo	
• Integrada	150 kbyte
Memoria de carga	
• Integrada	4 Mbyte
• enchufable (SIMATIC Memory Card), máx.	con SIMATIC Memory Card
Respaldo	
• existente	SI

6ES72141AG400XB0

Página 1/8

9/12/2025

Sujeto a cambios
© Copyright Siemens

Anexo 4

Ficha técnica módulo de expansión sm1223 siemens.

SIEMENS

Hoja de datos

6ES7223-1BL32-0XB0



Figura 3/11/16

SIMATIC S7-1200, E/S digitales SM 1223, 16 DI/16 DO, 16 DI DC 24V, Sink/Source, 16 DO, Transistor 0,5 A

Información general	
Designación del tipo de producto	SM 1223, DI 16x24 VDC, DQ 16x24 VDC
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
de bus de fondo 5 V DC, máx.	185 mA
Entradas digitales	
<ul style="list-style-type: none"> de la tensión de carga L+ (sin carga), máx. 	4 mA; por canal
Intensidad de salida / título	
tensión de alimentación de los transmisores / título	
<ul style="list-style-type: none"> existente 	SI
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	4,5 W
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	16
<ul style="list-style-type: none"> En grupos de 	2
Característica de entrada según IEC 61131, tipo 1	SI
Número de entradas atacables simultáneamente	
Todas las posiciones de montaje	
— hasta 40 °C, máx.	16
Posición de montaje horizontal	
— hasta 40 °C, máx.	16
— hasta 50 °C, máx.	16
Posición de montaje vertical	
— hasta 40 °C, máx.	16
Tensión de entrada	
<ul style="list-style-type: none"> Tipo de tensión de entrada Valor nominal (DC) para señal "0" para señal "1" 	DC 24 V 5 V DC, con 1 mA 15 V DC at 2,5 mA
Intensidad de entrada	
<ul style="list-style-type: none"> para señal "0", máx. (intensidad de reposo admisible) para señal "1", min. para señal "1", tip. 	1 mA 2,5 mA 4 mA
Retardo a la entrada (a tensión nominal de entrada)	
para entradas estándar	
— parametrizable	SI; 0,2 ms, 0,4 ms, 0,8 ms, 1,6 ms, 3,2 ms, 6,4 ms y 12,8 ms, elegible en

Anexo 5

Ficha técnica de pantalla HMI Siemens KTP900 Basic.

SIEMENS

Hoja de datos

6AV2123-2JB03-0AX0

SIMATIC HMI, KTP900 Basic, Basic Panel, Manejo con teclado táctil, pantalla TFT de 9", 65536 colores, Interfaz PROFINET, configurable a partir de WinCC Basic V13/ STEP 7 Basic V13, Incluye software Open Source, que se cede gratuitamente ver CD adjunto



Información general	
Designación del tipo de producto	KTP900 Basic color PN
Display	
Tipo de display	Pantalla TFT panorámica, retroiluminación LED
Diagonal de pantalla	9 in
Achura del display	198 mm
Altura del display	111,7 mm
Nº de colores	65 536
Resolución (píxeles)	
• Resolución de imagen horizontal	800 píxel
• Resolución de imagen vertical	480 píxel
Retroiluminación	
• MTBF de la retroiluminación (con 25 °C)	20 000 h
• Retroiluminación variable	SI
Elementos de mando	
Fuentes de teclado	
• Teclas de función	
— Nº de teclas de función	8
— Nº de teclas de función con LED	0
• Teclas con LED	No
• Teclas del sistema	No
• Teclado numérico	SI; Teclado en pantalla
• Teclado alfanumérico	SI; Teclado en pantalla
Manejo táctil	
• Variante con pantalla táctil	SI; Analógica resistiva
Diseño/montaje	
Posición de montaje	vertical
Montaje vertical (formato retrato) posible	SI
Montaje horizontal (formato apaisado) posible	SI
Máx. ángulo de inclinación permitido sin ventilación externa	35°
Tensión de alimentación	
Tipo de tensión de la alimentación	DC
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	19,2 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	230 mA
Intensidad transitoria de conexión I _{Pt}	0,2 A ³ s
Potencia	

Anexo 6

Ficha técnica de fuente Traco Power serie TEX, 120-112 / 120-124.

TRACO POWER

Industrial Power Supplies

TEX 120 Series, 120 Watt

Features

- ◆ Rugged isolated power supplies for harsh outdoor environments
- ◆ Die-cast aluminium housing
- ◆ Dust, water (incl. salt water), ice and oil resistant enclosure
- ◆ IP67 and NEMA 4X rated
- ◆ Connection via waterproof I/O plug-connectors
- ◆ Shock & vibration proof construction
- ◆ Operating temp. range -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- ◆ Universal input 85 to 264 VAC
- ◆ Output voltage adjustable
- ◆ DC-OK indicator
- ◆ Low ripple and noise
- ◆ Worldwide safety approvals
- ◆ Class I, zone 2 approval incl. ATEX certification (tested in accordance to IECEx)
- ◆ 3-year product warranty



These isolated power supplies have been designed particularly for applications in extreme environments. The rugged die-cast aluminium housing is water, ice, oil and dust resistant in compliance with IP67 and NEMA 4X standards. The metal case works as an efficient heatsink allowing full power operation at up to $+60^{\circ}\text{C}$ ambient temperature (no fan required). With a shock and vibration proof construction the power supplies can be mounted directly on a machine.

An International safety approval package includes CB scheme as well as ATEX certification applications in hazardous locations i.e in chemical or food processing industries. The TEX series offers a cost efficient solution for de-centralized power systems in industrial automation applications with critical environment conditions.

Models				
Order Code	Output Power (max.)	Output Voltage* (nom.)	Output Current (max.)	Efficiency (typ.)
TEX 120-112	96 W	12 VDC	8.0 A	87 %
TEX 120-124	120 W	24 VDC	5.0 A	87 %

* adjustable

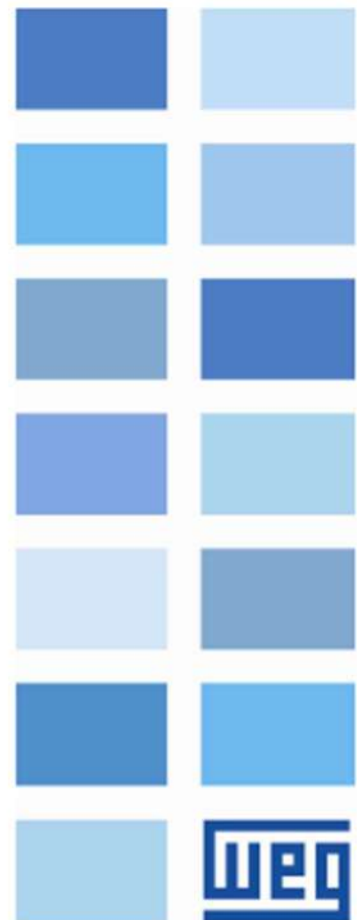
Anexo 7

Manual de convertidor WEG CFW300 (6AV2123-2JB03-0A).

Convertidor de Frecuencia

CFW300 V3.2X

Manual de Programación



Anexo 8

Manual de Servomotor y controlador XINJE MS6H - XINJE DS5.

XINJE

DS5P series servo driver
User manual

WUXI XINJE ELECTRIC CO., LTD.

Data No.SC5 12 20230923EN 1.2.2

Anexo 9

Ficha técnica y catálogo de actuadores neumáticos Airtac.

Cilindro normalizado

Series JSI

AIRTAC

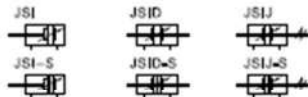


Especificación

Diámetro interior(mm)	32	40	50	63	80	100	125
Funcionamiento	Tipo de doble efecto						
Fluido	Aire (filtrado a través de un filtro de 40 µm o más)						
Tipo de montaje	JSI	Básico FA FB CA CB CR LB TC TCM1 TCM2					
	JS[D,JS]J	Básico FA LB TC TCM1 TCM2					
Alcance de presión	0,15-1,0MPa(22-145psi)(1,5-10,0bar)						
Presión de prueba	1,6MPa(235psi)(15bar)						
Temperatura	-20-70°C						
Rango de velocidad	30-800mm/s						30-500mm/s
Rango de tolerancia a carrera	0-250 ^{+1,2} ₀		251-1000 ^{+1,5} ₀		1001-1500 ^{+2,0} ₀		
Tipo de amortiguación	Amortiguación ajustable						
Carrera de amortiguación	20	20,5			29	33	
Tamaño del puerto [Nota 1]	PT1/8	PT1/4	PT3/8		PT1/2		

[Nota] Rosca PT, Rosca G disponibles.

Símbolo



Carrera

Diámetro interior(mm)	Carrera estándar (mm)	Carrera máxima	Rango permitido de carrera
32	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500	1000	1800
40 50	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800 900 1000	1200	1800
63 80 100 125	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800 900 1000	1500	1800

[Nota] Consútenos para la carrera no estándar.

Código de pedido

JSI 80 x 50 S
 JSI-D 80 x 50 S
 JSI-J 80 x 50-20 S

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

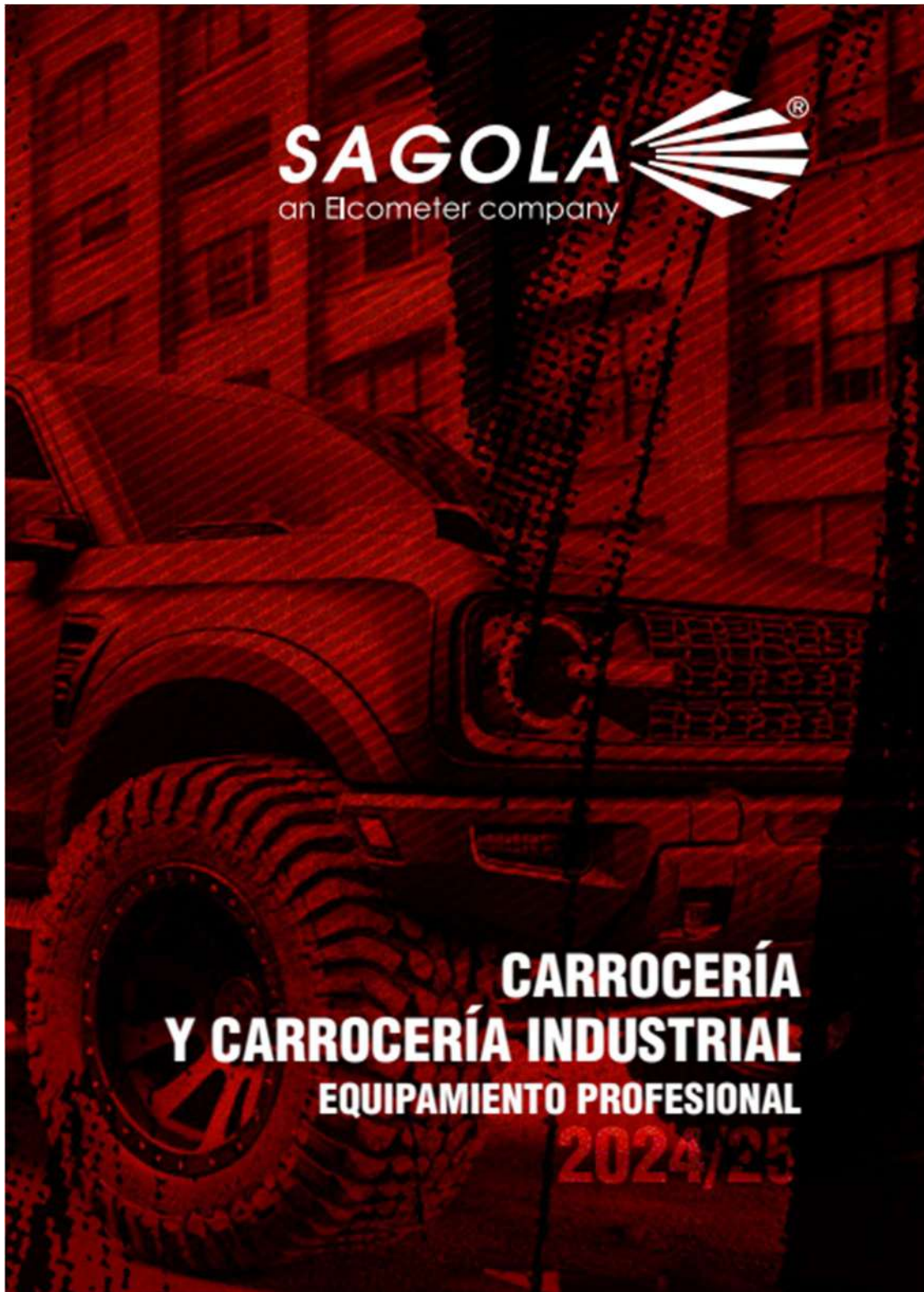
① Modelo	② Diámetro del cilindro	③ Carrera	④ Carrera ajustable	⑤ Código de imán	⑥ Tipo de montaje [Nota 1]	⑦ Tipo de rosca
JSI: Tipo de doble efecto	32 40 50 63 80 100 125	Consulte la tabla de carrera para más detalles	No este código	En blanco: sin imán S: con imán	En blanco:	En blanco: Rosca PT G: Rosca G
					LB	
					FA	
	FB					
	CA					
	CB					
	CR					
	TC					
JSI-D: Tipo de doble vástago y doble efecto					En blanco:	
JSI-J: Tipo de doble vástago y doble efecto con carrera ajustable			10 20 30 40 50 75 100		LB	
					FA	
					TC	

[Nota 1] Consulte las páginas P234 - 235 para ver los accesorios de instalación. Los accesorios TC se utilizan con TCM1 y TCM2.



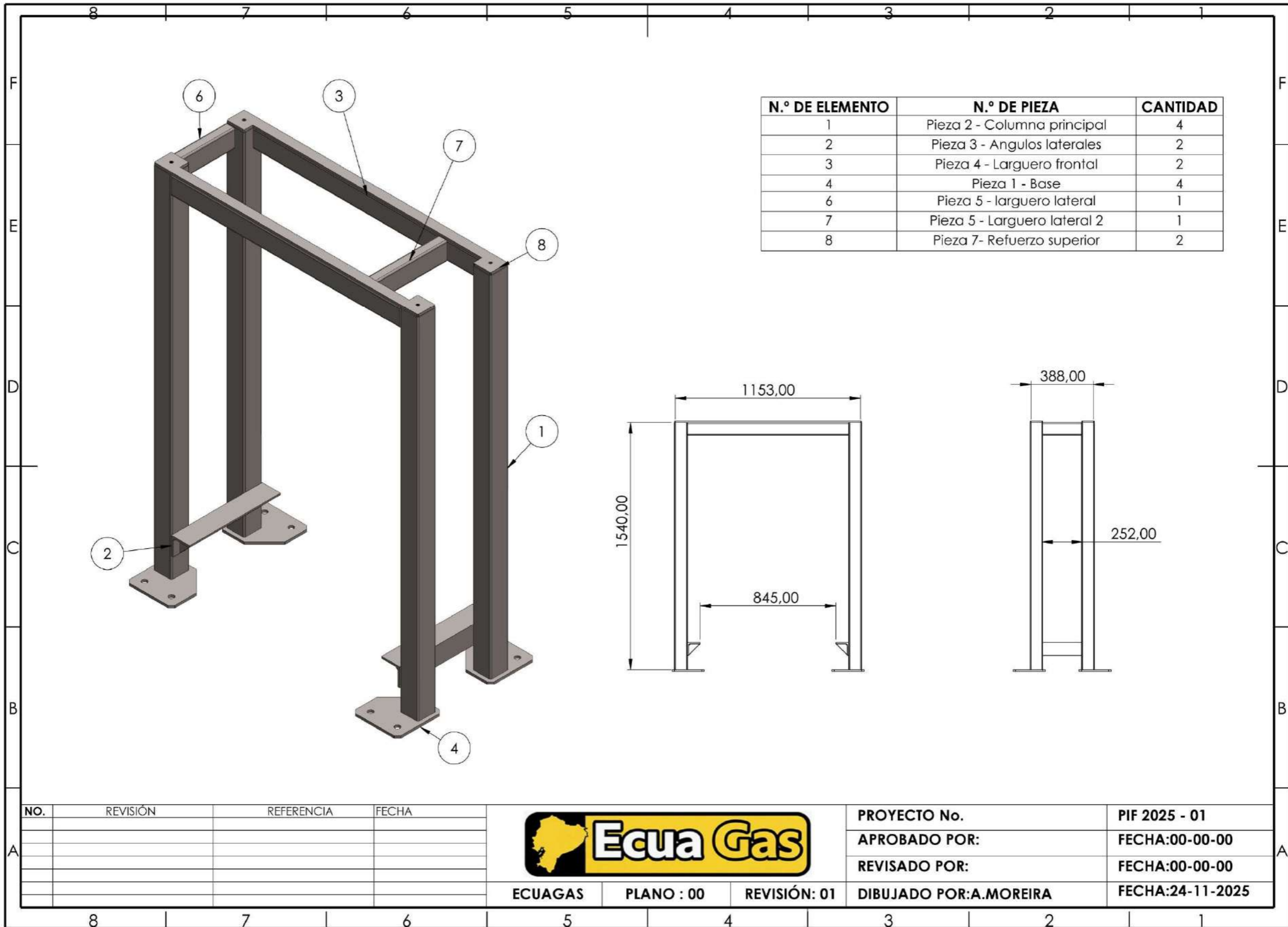
Anexo 10

Ficha técnica SAGOLA pistola Mini V, kit MA-14 y recipiente 610.



Anexo 11

Plano estructural de sistema mecánico.



Anexo 12

Estudio y simulación de cargas estáticas de estructura principal.



Descripción

El diseño estructural consiste el ensamblaje de los componentes detallados en la fase de selección, la primera etapa de diseño es la estructura, sobre la que se soportarán todos los componentes de la maquina y sobre la que residirán todos los esfuerzos y cargas producidas por las operaciones individuales y combinadas, los perfiles estructurales también serán responsables de alojar las bases para los actuadores neumáticos, así o como los gabinetes eléctricos , protecciones mecánicas entre otros.

Simulación de cargas estáticas Ensamblaje1- Estructura principal impresora automática de taras y logos.

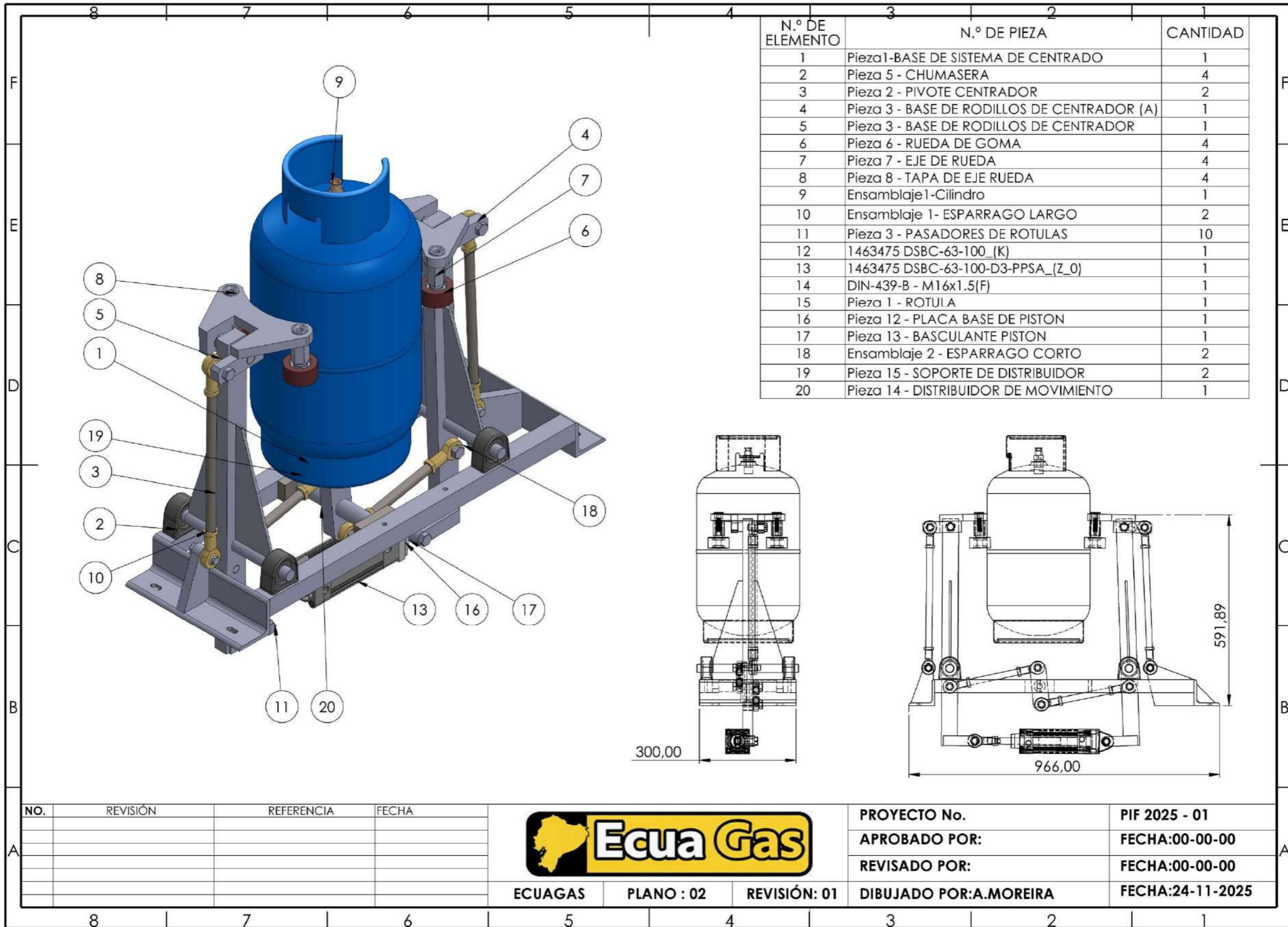
Fecha: viernes, 5 de diciembre de 2025
Diseñador: SolidWorks
Nombre de estudio: Análisis estático 1
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Descripción.....	1
Suposiciones	¡Error! Marcador no definido.
Información de modelo.....	¡Error! Marcador no definido.
Propiedades de estudio	2
Unidades.....	2
Propiedades de material	3
Cargas y sujeciones	4
Definiciones de conector.....	4
Información de contacto	5
Información de malla	6
Detalles del sensor	7
Fuerzas resultantes	7
Vigas	7
Resultados del estudio	8
Conclusión.....	10

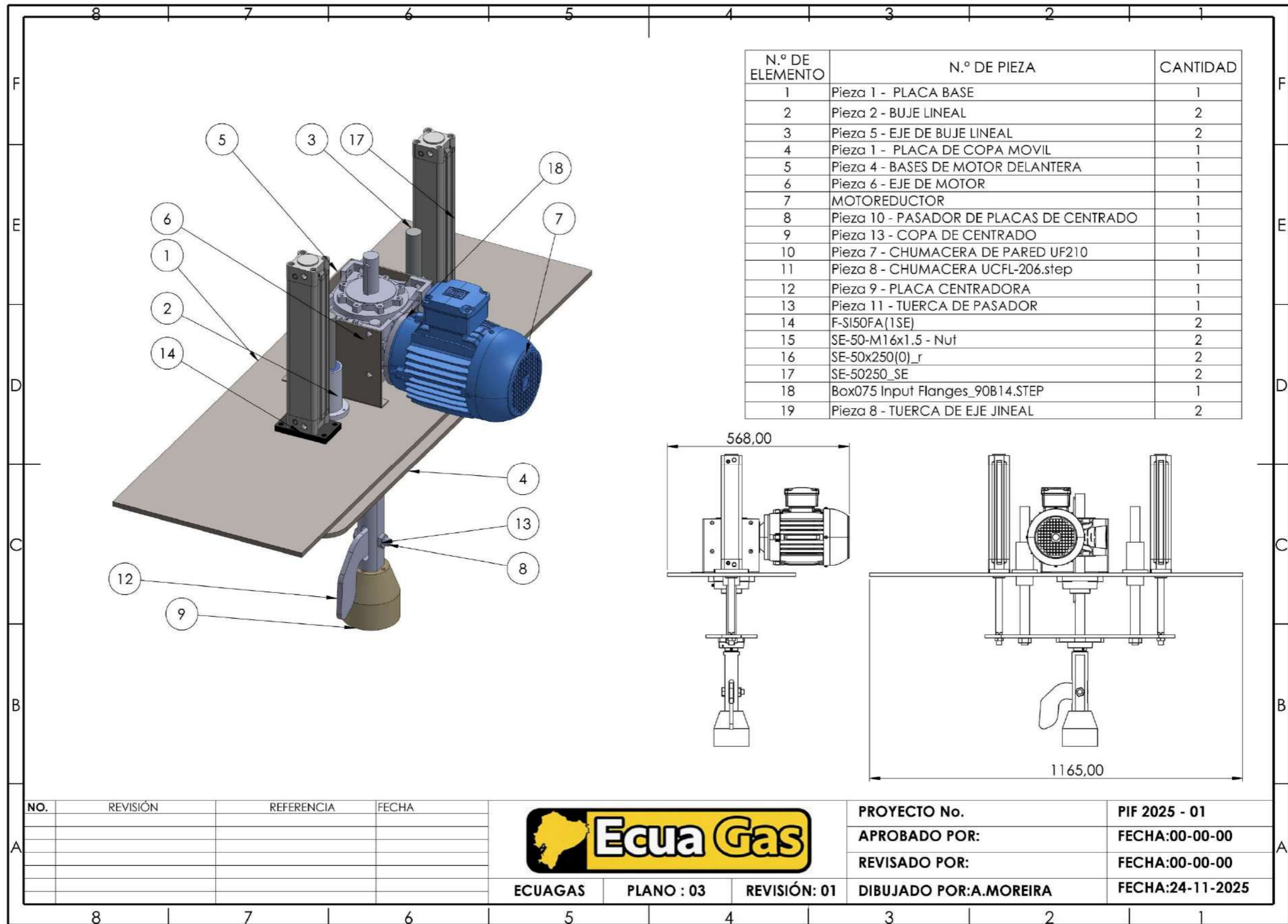
Anexo 13

Ensamblaje de mecanismo de posicionamiento y centrado.



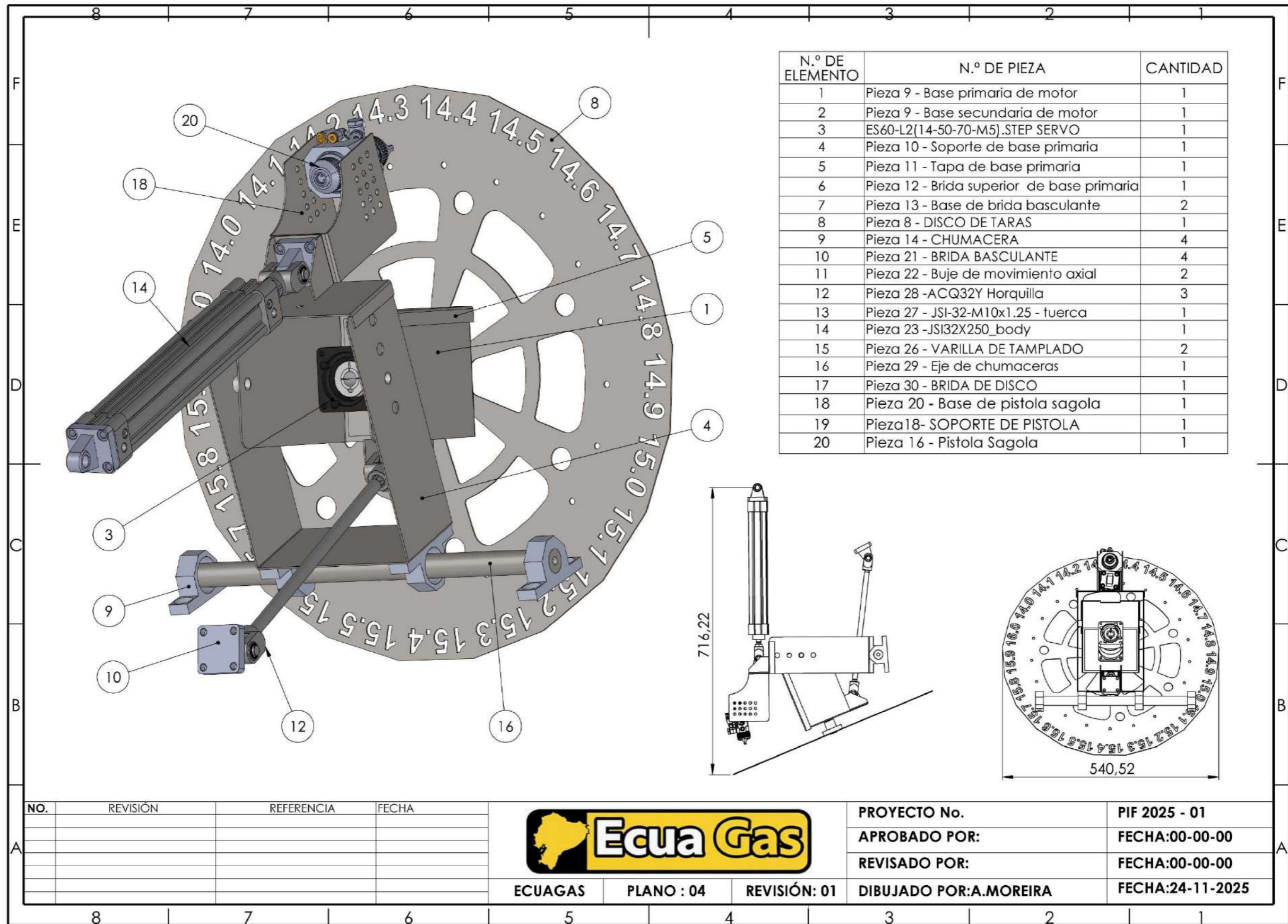
Anexo 14

Ensamblaje de mecanismo de rotación de cilindro.



Anexo 15

Ensamblaje de mecanismo de impresión de taras.



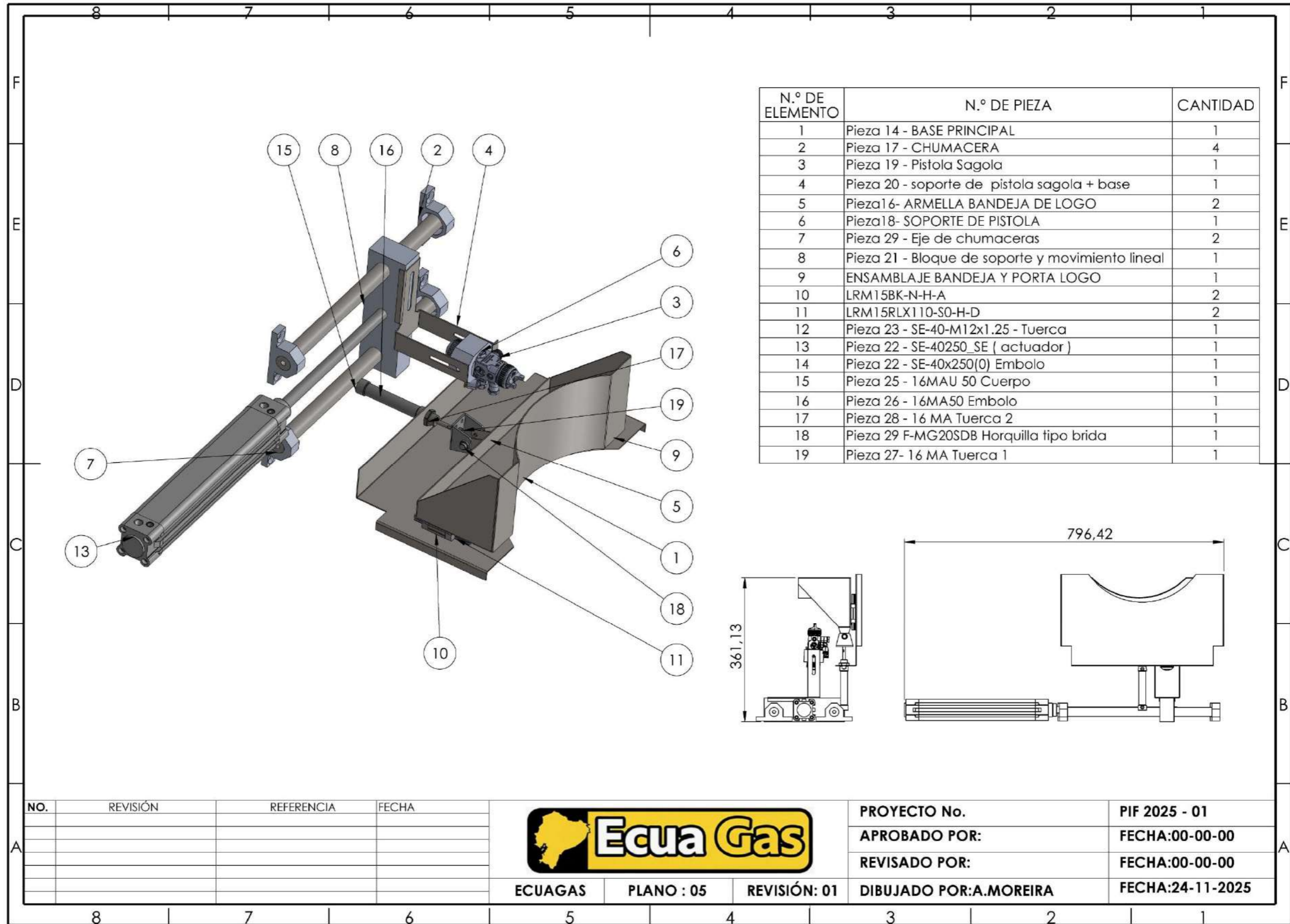
NO.	REVISIÓN	REFERENCIA	FECHA



ECUAGAS PLANO : 04 REVISIÓN: 01 PROYECTO No. PIF 2025 - 01 APROBADO POR: FECHA:00-00-00 REVISADO POR: FECHA:00-00-00 DIBUJADO POR:A.MOREIRA FECHA:24-11-2025

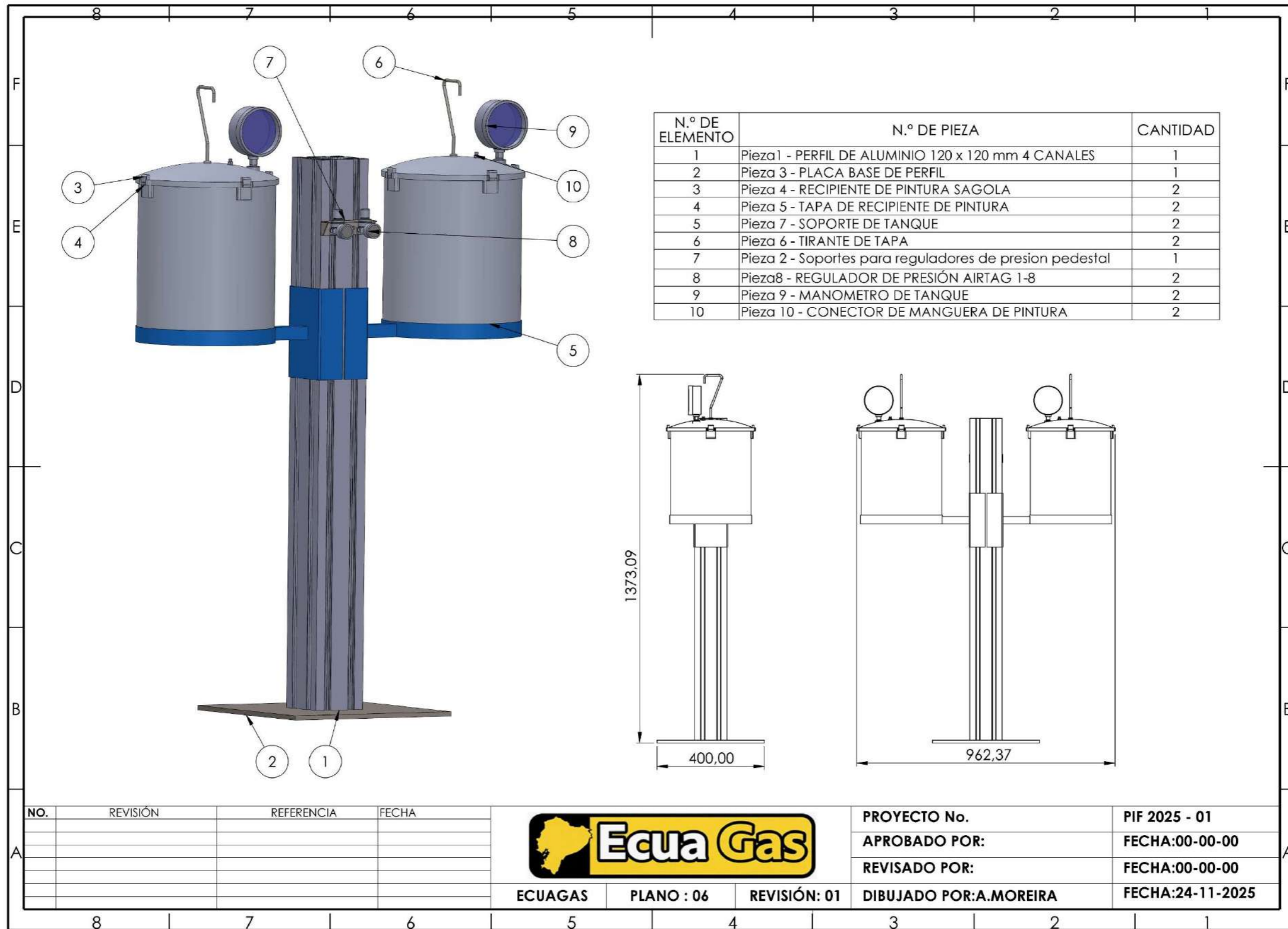
Anexo 16

Ensamblaje de mecanismo de impresión de logotipo.



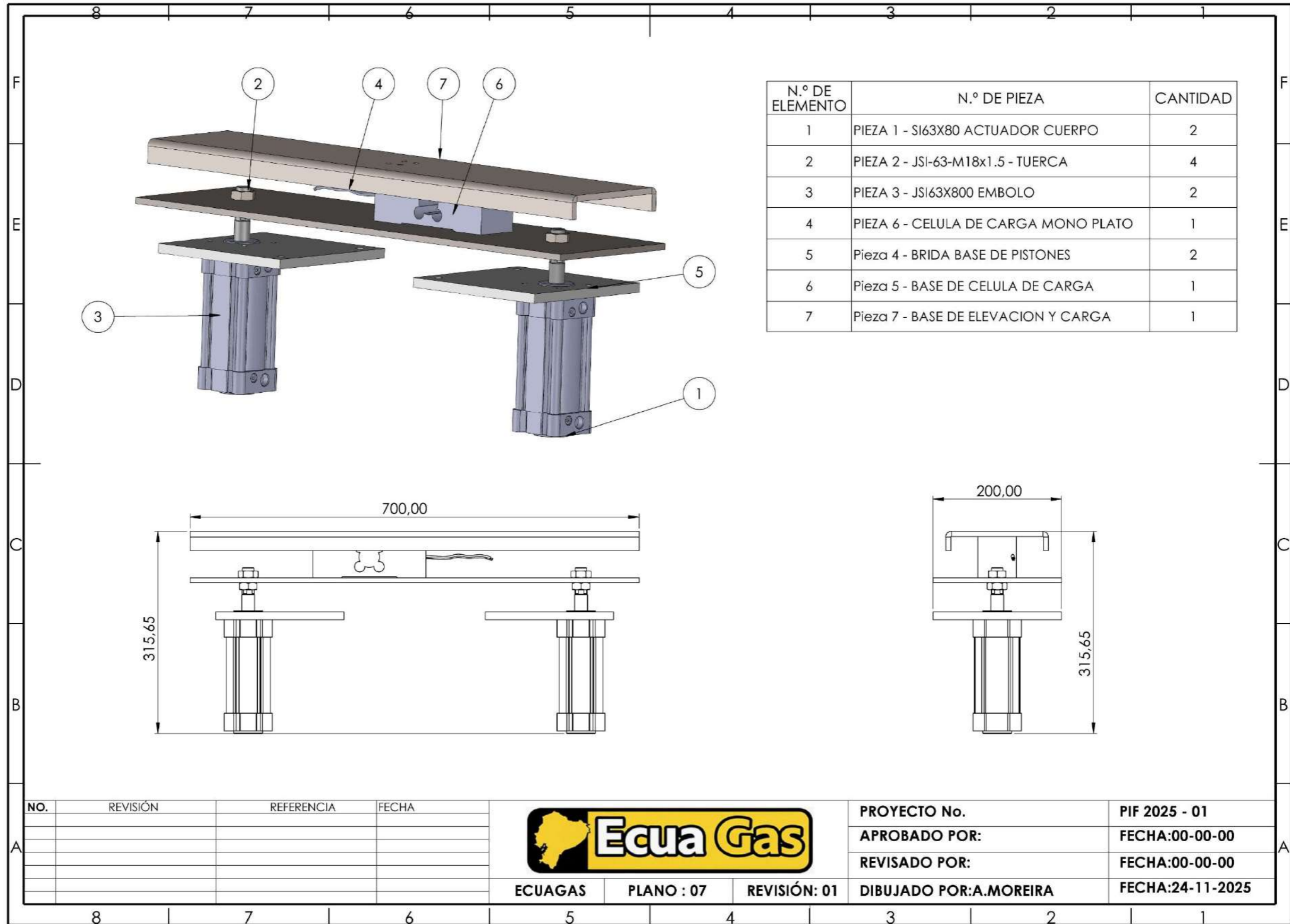
Anexo 17

Ensamblaje de mecanismo de contención de pintura líquida.



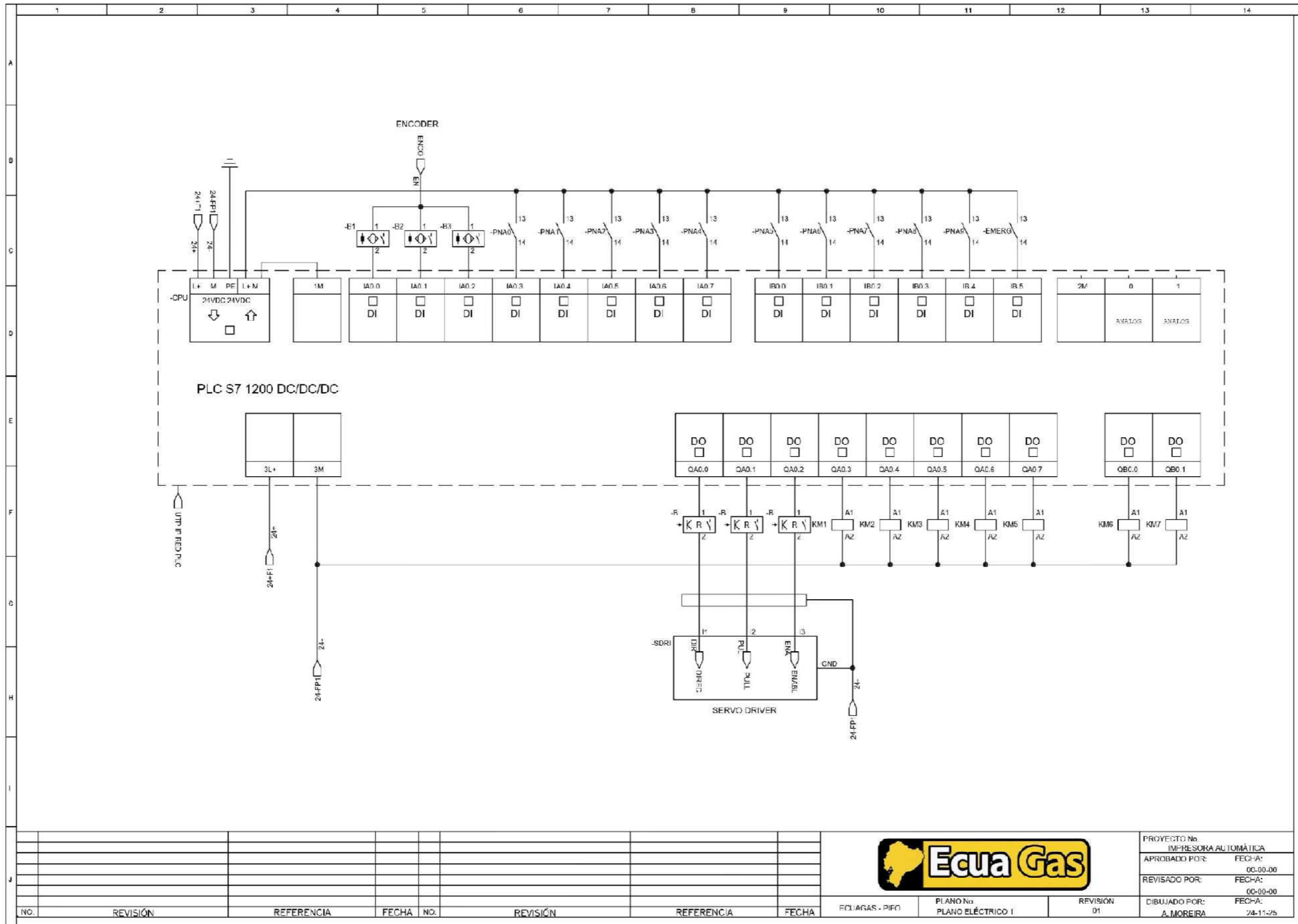
Anexo 18

Ensamblaje de mecanismo elevación y pesaje de cilindros.



Anexo 19

Plano de conexiones eléctricas de PLC S7-1200.



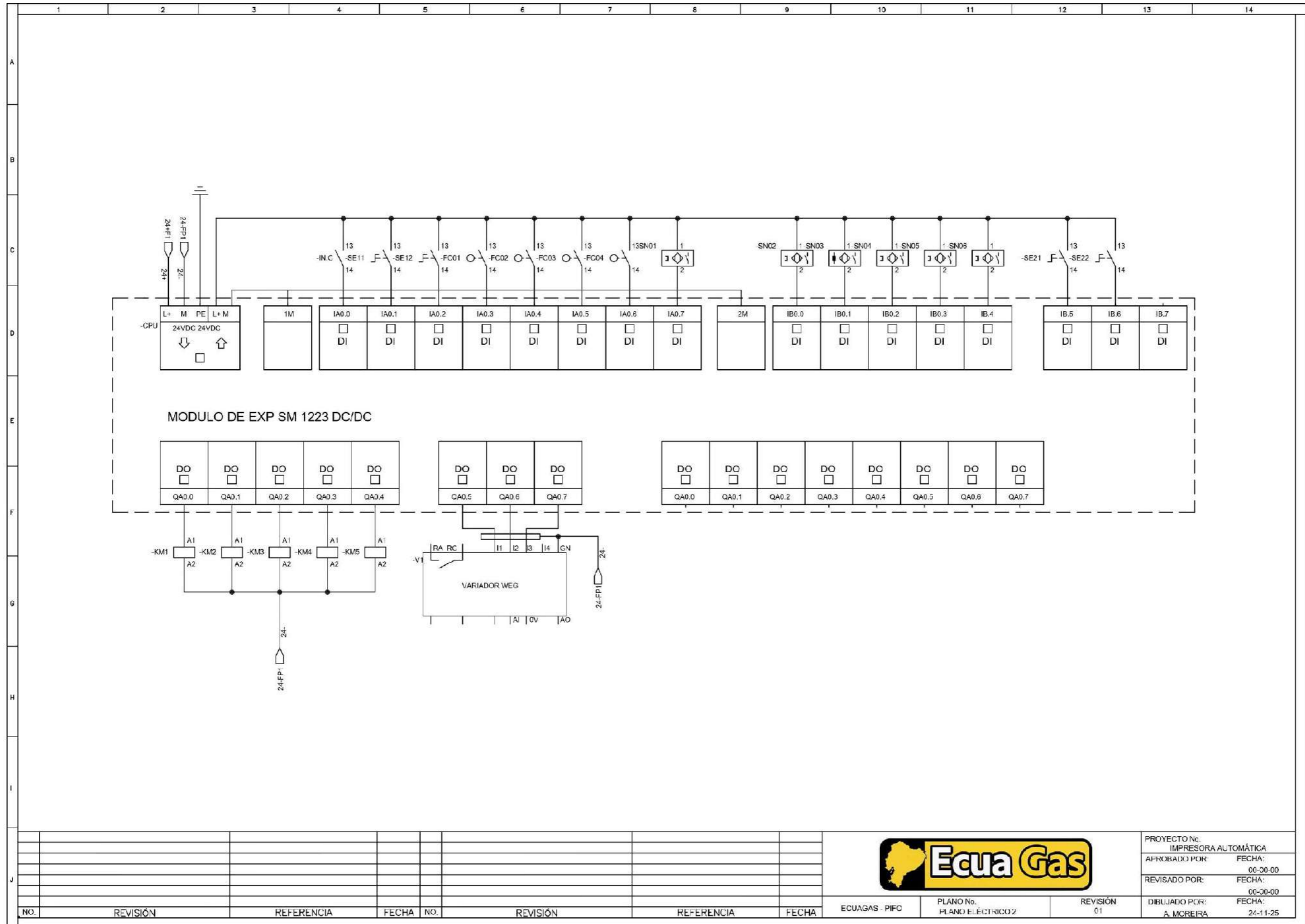
PROYECTO No.	IMPRESORA AUTOMÁTICA
APROBADO POR:	FECHA: 00-00-00
REVISADO POR:	FECHA: 00-00-00
DIBUJADO POR:	FECHA: 24-11-25

NO.	REVISIÓN	REFERENCIA	FECHA	NO.	REVISIÓN	REFERENCIA	FECHA

EQUAGAS - PFCO PLANO No. PLANO ELÉCTRICO I REVISIÓN 01

Anexo 20

Plano de conexiones eléctricas de Módulo de expansión SM 1223.



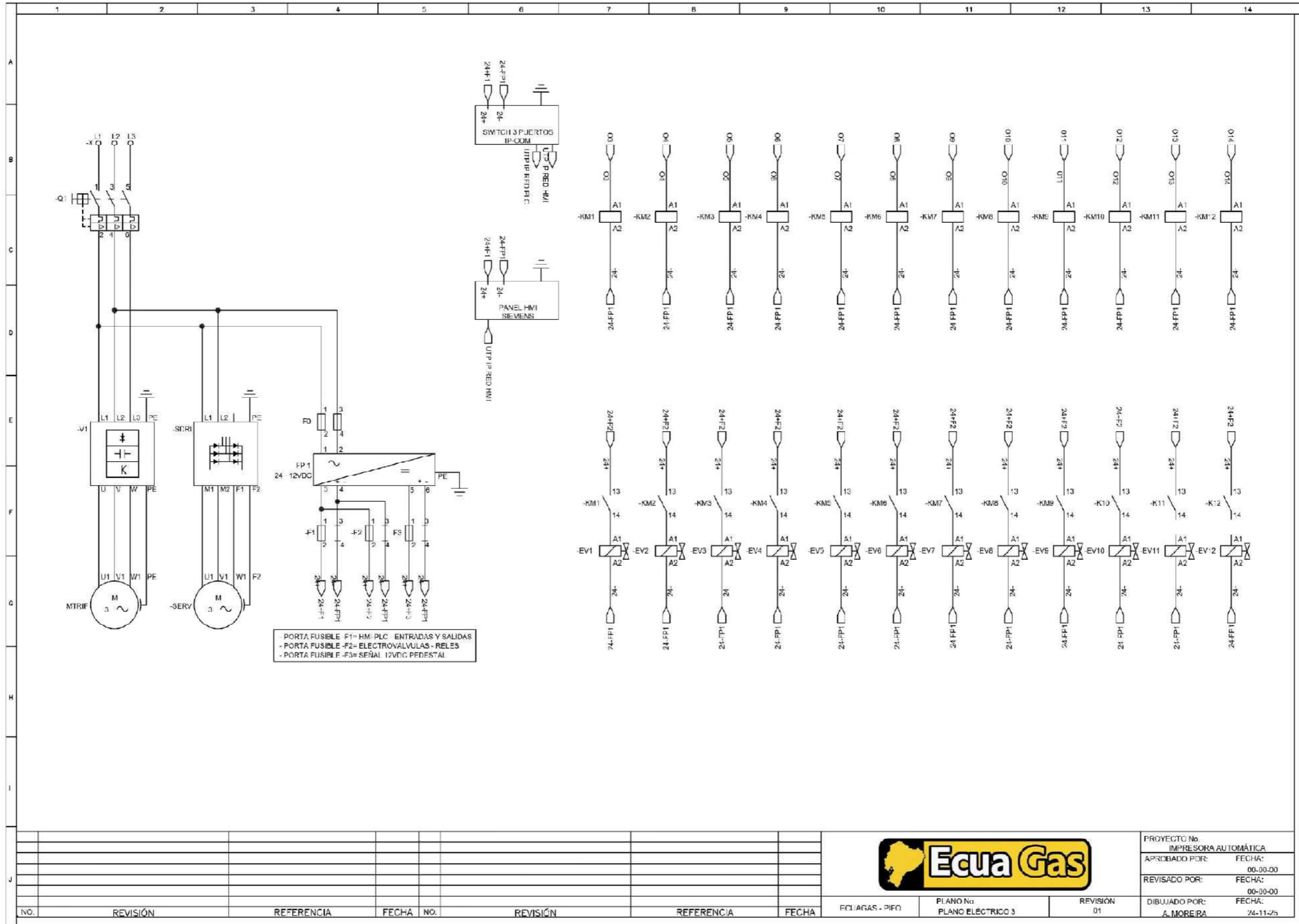
NO.	REVISIÓN	REFERENCIA	FECHA	NO.	REVISIÓN	REFERENCIA	FECHA



ECUAGAS - PIFC	PLANO No. PLANO ELÉCTRICO 2	REVISIÓN 01	PROYECTO No. IMPRESORA AUTOMÁTICA
			APROBADO POR: FECHA: 00-00-00
			REVISADO POR: FECHA: 00-00-00
			DIBUJADO POR: FECHA: A. MCREIRA 24-11-25

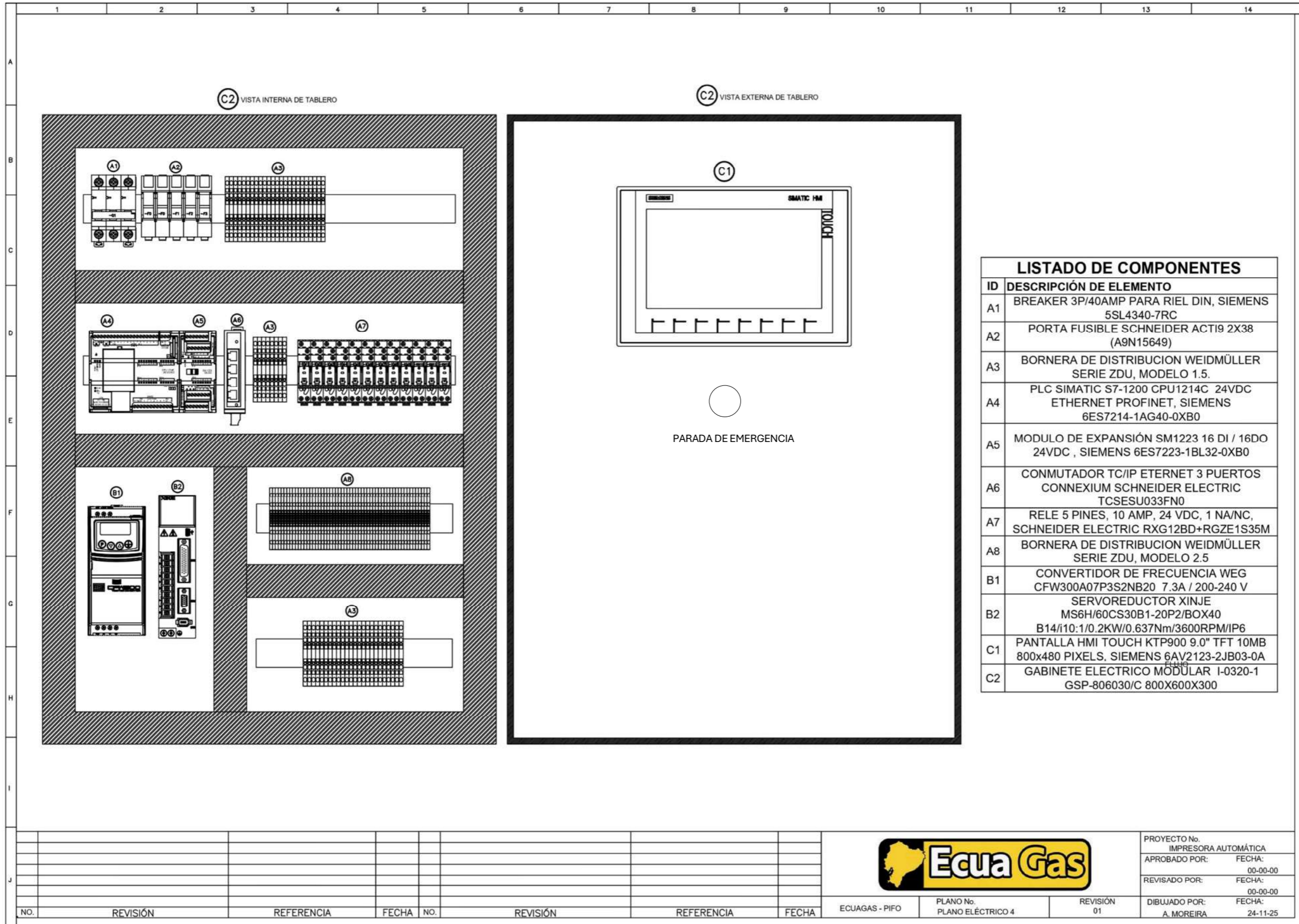
Anexo 21

Plano de conexiones eléctricas de sistemas de alimentación y potencia.



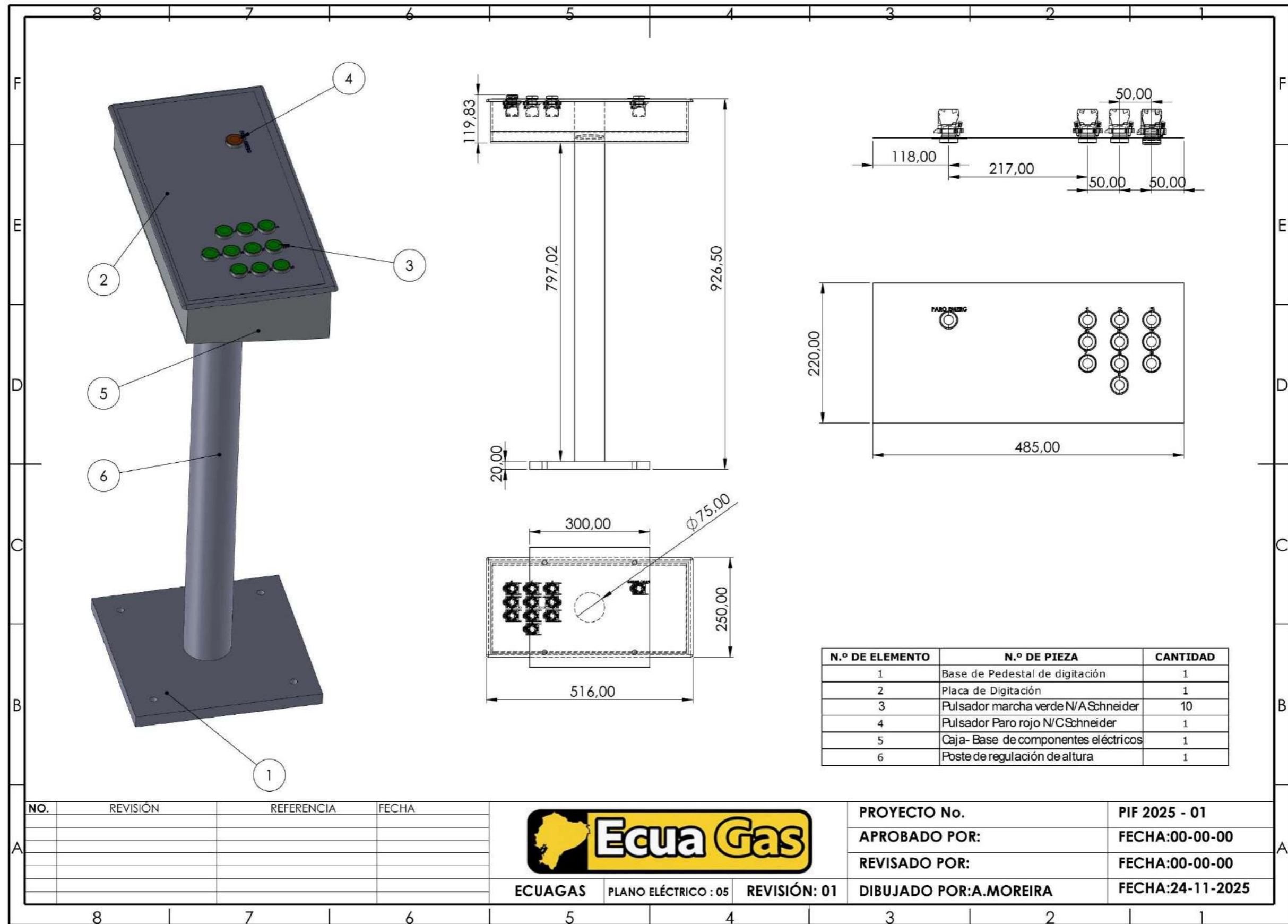
Anexo 22

Plano de distribución de componentes eléctricos en gabinete.



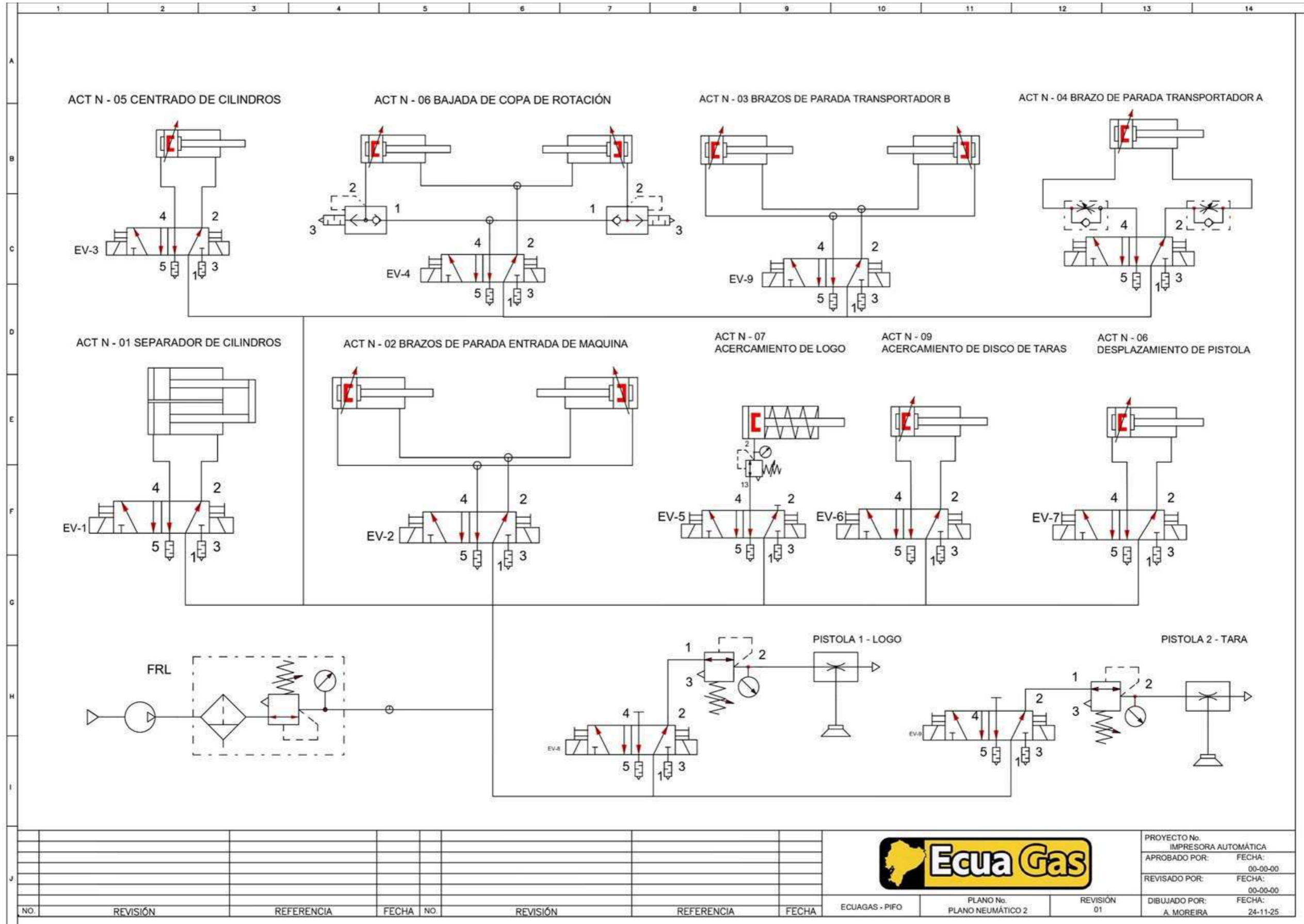
								PROYECTO No. IMPRESORA AUTOMÁTICA		
								APROBADO POR: FECHA: 00-00-00		
								REVISADO POR: FECHA: 00-00-00		
								DIBUJADO POR: FECHA: 24-11-25		
NO.	REVISIÓN	REFERENCIA	FECHA	NO.	REVISIÓN	REFERENCIA	FECHA	ECUAGAS - PIFO	PLANO No. PLANO ELÉCTRICO 4	REVISIÓN 01

Anexo 23
Plano pedestal de digitación.



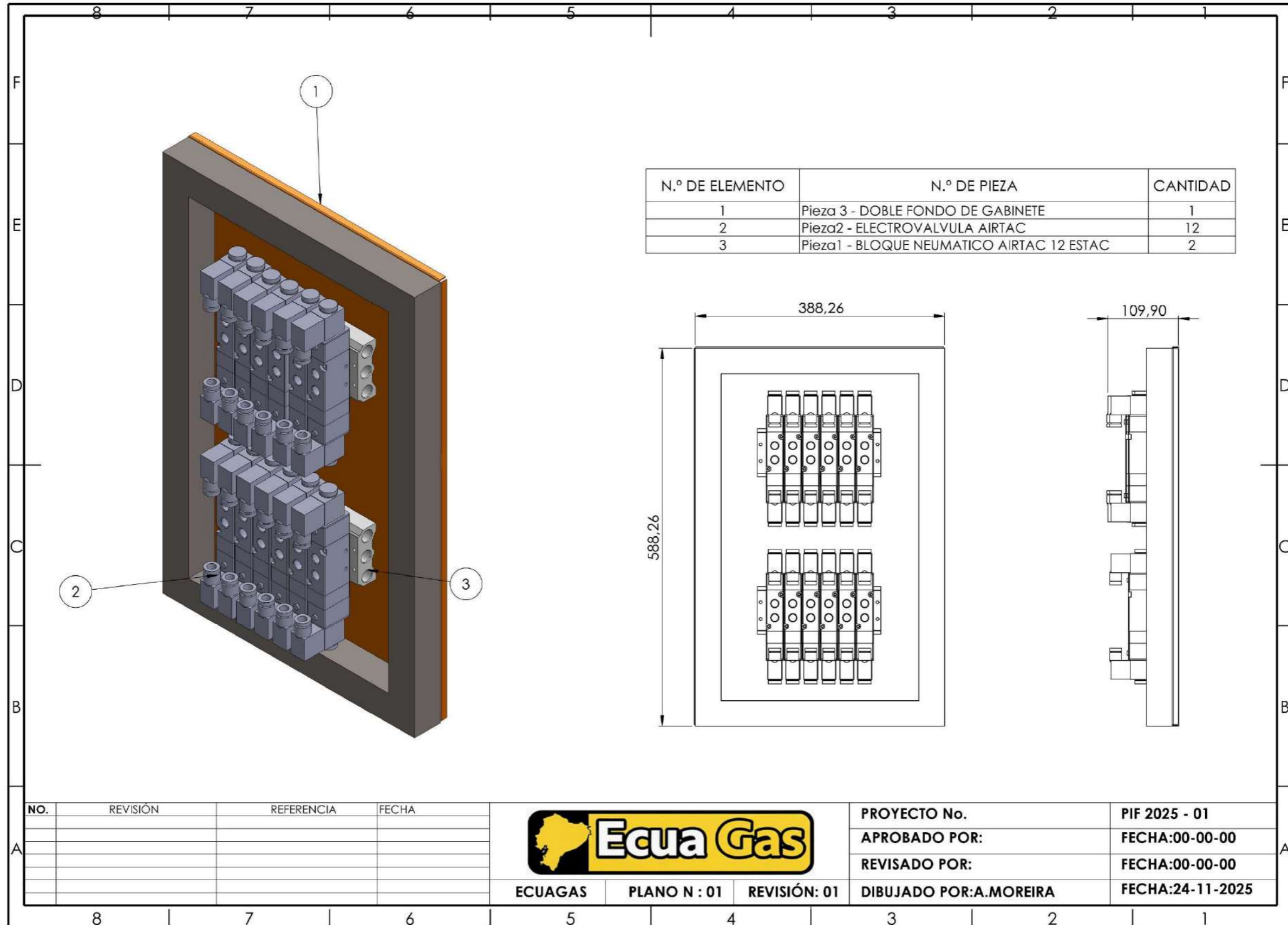
Anexo 24

Plano esquemático de conexiones neumáticas.



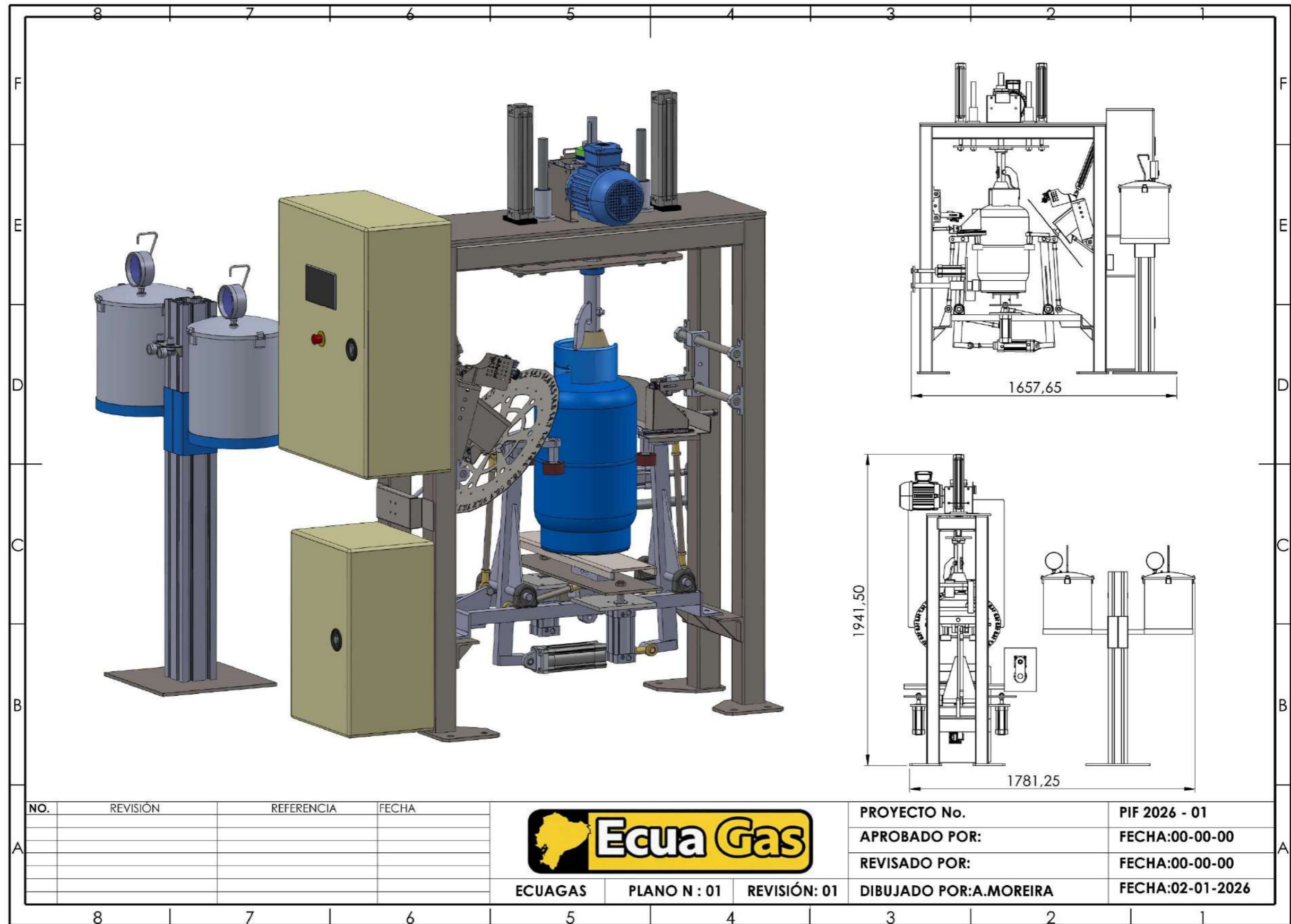
Anexo 25

Ensamblaje de gabinete modular neumático.



Anexo 26

Ensamblaje de componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos.



Anexo 27

Listado de materiales - Ensamblaje completo de sistema.

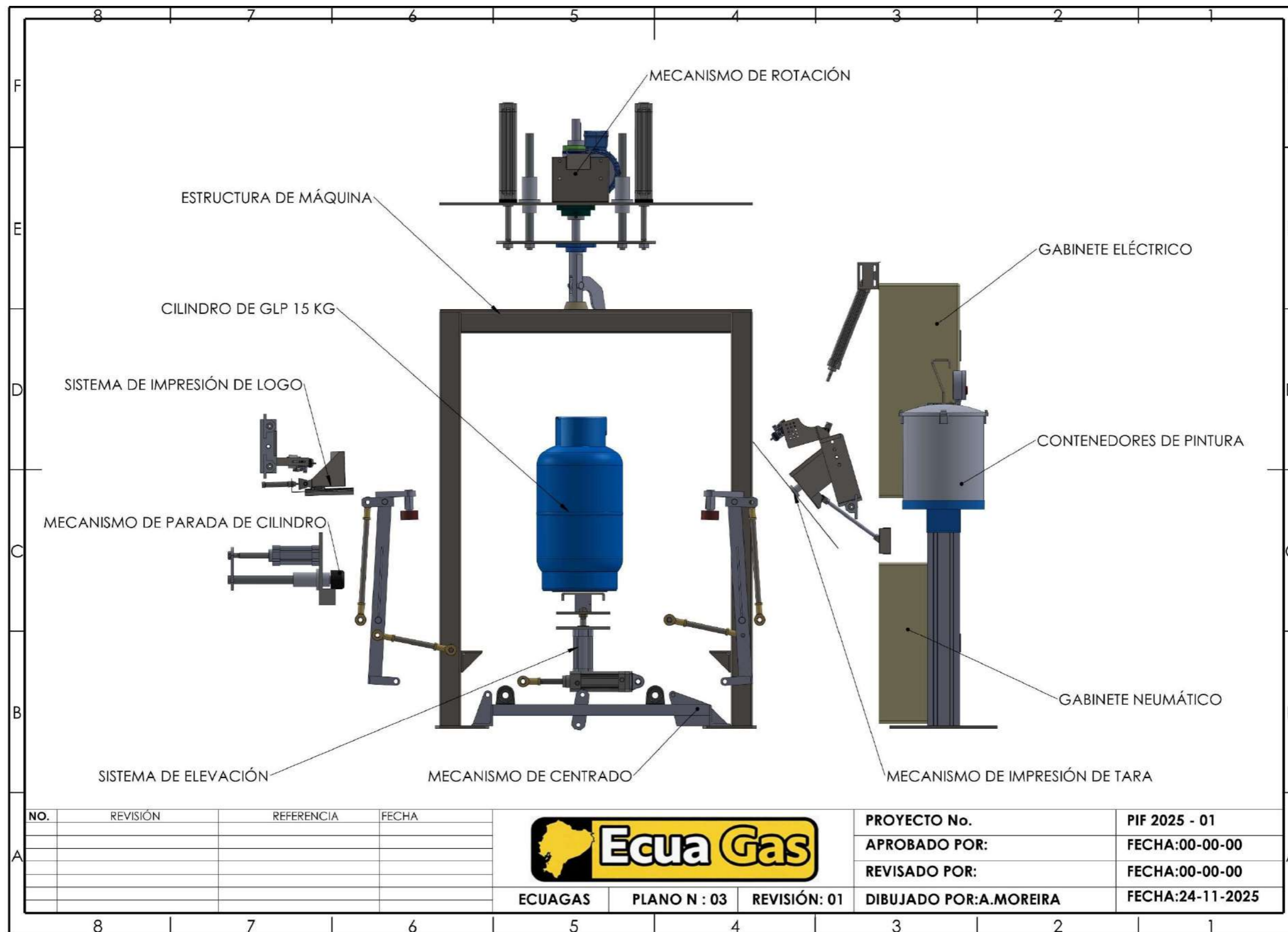
N.º DE ELEMENTO		N.º DE PIEZA		CANTIDAD	
1	Ensamblaje1- Estructura principal			1	
2	Ensamblaje - GENERAL SIN CILINDRO			1	
3	Pieza 12 - PLACA BASE DE PISTON			1	
4	Pieza 13 - BASCULANTE PISTON			1	
5	Pieza 2 - PIVOTE CENTRADOR			2	
6	Pieza 6 - RUEDA DE GOMA			4	
7	Pieza 7 - EJE DE RUEDA			4	
8	Pieza 8 - TAPA DE EJE RUEDA			4	
9	Ensamblaje 1- ESPARRAGO LARGO			3	
10	Ensamblaje 2 - ESPARRAGO CORTO			2	
11	Pieza 3 - PASADORES DE ROTULAS			1	
12	Pieza 14 - DISTRIBUIDOR DE MOVIMIENTO			1	
14	Pieza 2 - ESPARRAGO LARGO			2	
17	Pieza 3 - BASE DE RODILLOS DE CENTRADOR			1	
18	Pieza 3 - BASE DE RODILLOS DE CENTRADOR (A)			1	
19	Ensamblaje1-Rotación de cilindro			1	
20	Pieza 1 - PLACA DE COPA MOVIL			1	
21	Pieza 10 - PASADOR DE PLACAS DE CENTRADO			1	
22	Pieza 11 - TUERCA DE PASADOR			1	
23	Pieza 14 - BRIDA DE CALIBRACIÓN DE SENSADO			1	
24	Pieza 15 - LEVA DE SENSADO			1	
25	Pieza 16 - TUERCA DE AJUSTE DE LEVA			1	
26	Pieza 5 - EJE DE BUJE LINEAL			3	
27	Pieza 8 - CHUMACERA UCFL-206.step			1	
28	Pieza 8 - TUERCA DE EJE JINEAL			4	
29	Pieza 9 - PLACA CENTRADORA			1	
30	Sub ensamble de Eje y copa centradora			1	
31	SE-50x250(0) r			2	
32	Ensamblaje1 - ELEVACION DE CILINDRO			1	
33	Ensamblaje 4 - Sistema mecánico de marcacion de taras - copia			1	
34	Pieza 21 - BRIDA BASCULANTE			3	
35	Pieza 14 - CHUMACERA			6	
36	Pieza 29 - Eje de chumaceras			3	
37	Pieza 23 -JSI32X250_body			1	
38	Pieza 25 - JSI32X2500 (ENBOLO)			1	
39	Pieza 28 -ACQ32Y Horquilla			3	
40	Pieza15- Soporte de rotula inferior			1	
41	Pieza 17 - base de brida basculante pistón superior			1	
42	ENSAMBLAJE BANDEJA Y PORTA LOGO			1	
43	Pieza 14 - BASE PRINCIPAL			1	
44	Pieza 19 - Pistola Sagola			1	
45	Pieza 20 - soporte de pistola sagola + base			1	
46	Pieza 21 - Bloque de soporte y movimiento lineal			1	
47	Pieza 25 - 16MAU 50 Cuerpo			1	
48	Pieza 26 - 16MA50 Emboło			1	
49	Pieza 28 - 16 MA Tuerca 2			1	
50	Pieza 29 F-MG20SDB Horquilla tipo brida			1	
51	Pieza18- SOPORTE DE PISTOLA			1	
52	LRM15RLX110-S0-H-D			4	
53	LRM15BK-N-H-A			2	
54	Pieza16- ARMELLA BANDEJA DE LOGO			2	
55	Pieza 5- GABINETE ELÉCTRICO			1	
56	Pieza 5- GABINETE NEUMATICO			1	
57	Pieza26 - VARILLA DE TEMPLADO 2			1	
58	Pieza 3 - Soporte de sensor inductivo centrado de cilindro			1	
59	Ensamblaje1 - SISTEMA DE SOPORTE DE RECIPIENTES DE PINTURA			1	
60	Ensamblaje 2 - TRANSPORTADOR DE CILINDROS			1	
61	Ensamblaje1-Cilindro			1	
62	PIEZA 1 - SI63X80 ACTUADOR CUERPO			1	
63	PIEZA 2 - JSI-63-M18x1.5 - TUERCA			1	
64	PIEZA 3 - JSI63X800 EMBOLO			1	
65	Copa de centrado			1	
66	Pieza 2 - BUJE LINEAL			1	
67	Pieza 1 - BRIDA BASE DE PISTONES Y GUIA			1	
68	Pieza 2 - BRIDA DE ARRASTRE			1	
69	OPERADOR 1			1	
70	Pieza1 - TAPA LATERAL			2	
71	Pieza 2 - TAPA LATERAL PEQUEÑA			2	
72	Pieza 3 - TAPA CENTRAL RANURADA LADO A			1	
73	Pieza 4 - TAPA CENTRAL RANURADA LADO B			1	
74	Pieza 5 - TAPA MOVIL			1	
75	Pieza 6 - TAPA MOVIL 2			1	

NO.	REVISIÓN	REFERENCIA	FECHA

		PROYECTO No.	PIF 2025 - 01
		APROBADO POR:	FECHA:00-00-00
ECUAGAS PLANO N : 02 REVISIÓN: 01		REVISADO POR:	FECHA:00-00-00
		DIBUJADO POR:A.MOREIRA	FECHA:24-11-2025

Anexo 28

Vista explosionada de ensamblaje global del equipo.



NO.	REVISIÓN	REFERENCIA	FECHA

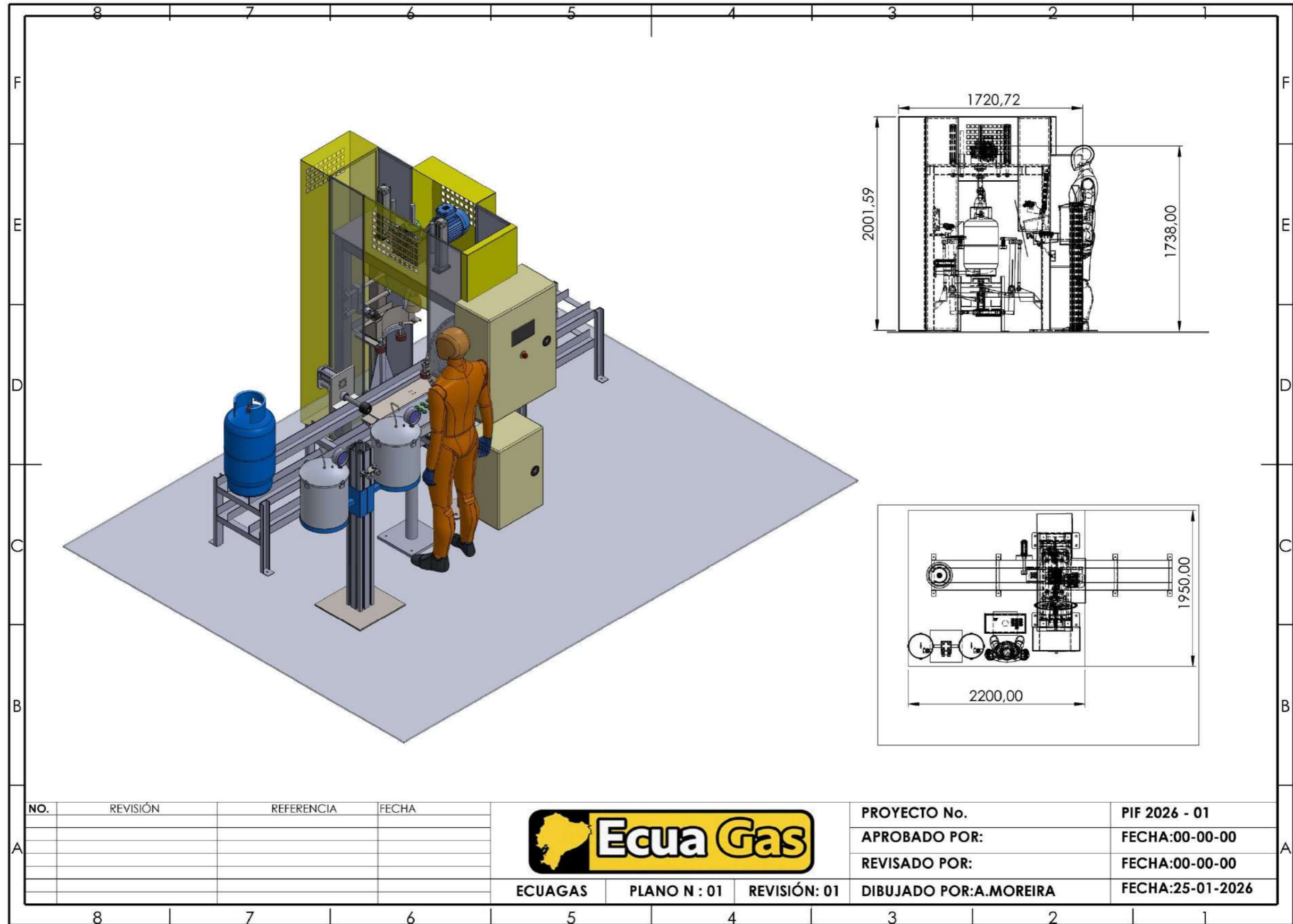


ECUAGAS PLANO N : 03 REVISIÓN: 01

PROYECTO No.	PIF 2025 - 01
APROBADO POR:	FECHA:00-00-00
REVISADO POR:	FECHA:00-00-00
DIBUJADO POR:A.MOREIRA	FECHA:24-11-2025

Anexo 29

Plano general final del sistema.



NO.	REVISIÓN	REFERENCIA	FECHA



ECUAGAS PLANO N : 01 REVISIÓN: 01

PROYECTO No.	PIF 2026 - 01
APROBADO POR:	FECHA:00-00-00
REVISADO POR:	FECHA:00-00-00
DIBUJADO POR:A.MOREIRA	FECHA:25-01-2026

Anexo 30

Abstract revisado y aprobado

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

Industrial Engineering

AUTHOR: MOREIRA VALDEZ ANDRES FERNANDO

TUTOR: MSc. TOPON VISARREA BLANCA LILIANA

THEME

DESIGN OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR PRINTING TARE MARKINGS AND LOGOS ON DOMESTIC LPG CYLINDERS FOR A BOTTLING PLANT

ABSTRACT

In a domestic LPG cylinder bottling plant, deficiencies were identified in the printing of logos and tare markings due to their manual execution, ergonomic risks, and low quality, resulting in reduced productivity and additional costs for the company under study. Therefore, the objective of this work is to design an automated system for printing tare markings and logos and to validate, through simulations, its operation and the resulting improvements in productivity. The research employed an applied engineering approach, utilizing methodologies such as Ishikawa diagrams, Pareto analysis, and Quality Function Deployment (QFD), along with analytical cursogram development and productivity evaluation. This enabled the diagnosis and identification of optimal technical criteria to feasibility the project, which will be implemented through the integration of mechanical, electrical, pneumatic, and control systems, validated via simulations in TIA Portal and SolidWorks. The proposed system facilitates the orderly structuring of tasks executed according to the programming in TIA Portal, with its operation simulated in SolidWorks. This method determined a reduction in execution times, as the system performs two operations simultaneously, leading to a significant productivity improvement from 0.81 to 1.21 cylinders produced per dollar invested. The automated design allows simulation of its behavior, enabling validation that it achieves substantial productivity gains while ensuring process quality and safety. This design lays the foundation for future research on implementing machine vision systems for automatic quality control and real-time data traceability in the hydrocarbon industry.

KEYWORDS: Keywords: Automation, Productivity, Simulations, Traceability.

