



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Título:

**DISEÑO DE SISTEMA DE SEGURIDAD MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS PARA
PALETIZADORA Y LLENADORA EN LAS PLANTAS DE GASEOSA EN MEXICO, Y
PARA UNA DEPALETIZADORA DE UNA PLANTA EN BOYACA.**

Sebastian Grisales Cadavid

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria

Asesor

Junes Abdul Villarraga Ossa, Magíster (MSc) en Ingeniería Mecánica

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2026



Cita

Grisales Cadavid [1]

Referencia

Estilo IEEE (2020)

- [1] S. Grisales Cadavid “Título: *Diseño de sistema de seguridad mecánicos y eléctricos para paletizadoras y llenadoras en las plantas de gaseosa en México, y una planta en Boyacá*”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2025



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi padre, madre, hermano y todos los que creyeron en mí cuando yo dude de mí mismo, quienes me recordaron que cada paso sin importar lo pequeño que sea, vale la pena darlo. Sin ustedes este logro no significaría lo mismo.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a SAMCO SAFETY por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas en su organización. Durante esta valiosa experiencia, pude fortalecer mis conocimientos en ingeniería, a la vez que desarrollé habilidades sociales y profesionales esenciales. El apoyo, la orientación y la confianza del equipo de la empresa contribuyeron enormemente a mi crecimiento personal y profesional, y por ello estoy profundamente agradecido.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	12
Abstract	13
1. Introducción	14
2. Objetivos	15
2.1 Objetivo general	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. Marco teórico	16
4. Metodología	31
5. Diseño de sistema de seguridad industrial de paletizadora de Mexico	33
5.1 Planteamiento del problema paletizadora de Mexico e identificación de riesgos.....	33
5.2 Modelación CAD del Entorno:	37
5.3 Conceptos propuestos para reducir los riesgos asociados a la paletizadora de Mexico.....	39
5.4 Diseño de detalle	46
5.4.1 Detalle Mecánico.	46
5.4.2 Descripción del funcionamiento del sistema de seguridad	48
6. Resultados diseño de seguridad de paletizadora de Mexico.	50
7. Diseño de sistema de seguridad industrial de Llenadora en la ciudad de Mexico	60
7.1 Planteamiento del problema de llenadora e identificación de riesgos	60
7.2 Modelación CAD del entorno de llenadora en Mexico.....	63
7.3 Conceptos propuestos para reducir los riesgos asociados a la llenadora de Mexico	64
7.4 Diseño de detalle de seguridad de la llenadora de Mexico	66
7.4.1 Descripción del funcionamiento del sistema de seguridad de la llenadora	67
8. Resultados diseño de seguridad de llenadora de Mexico.	68
9. Diseño de sistema de seguridad industrial de Depaletizadora	72

9.1 Planteamiento del problema de depaletizadora e identificación de riesgos	72
9.2 Modelación CAD del Entorno de la depaletizadora en Boyacá.....	72
9.3 Conceptos propuestos para reducir los riesgos asociados a la depaletizadora.....	73
9.4 Diseño de detalle	79
9.5 Fabricación	83
10. Resultados diseño de seguridad de depaletizadora	85
11. Conclusiones	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de principales peligros asociados a maquinas.....	17
Tabla 2 Distancia horizontal segura en base a la altura de la guarda y la zona de peligro	22
Tabla 3 Nivel de prestación de acuerdo al estandar ISO 13849-1	24
Tabla 4 Determinación del parámetro P.....	25
Tabla 5 Motores a intervenir en paletizadora de Mexico.....	49
Tabla 6 Electrovalvulas del sistema anticaidas	50
Tabla 7 Motores a intervenir en la llenadora de Mexico.....	68

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Grafico ilustrativo en la evaluación de PL (nivel de prestación).....	25
Fig. 2 Representación de cortina de luz para detectar el ingreso de personas a zona peligrosa	26
Fig. 3 Llave y actuador AZM300 SCHMERSAL.....	27
Fig. 4 Llave y actuador AZM150 SCHMERSAL.....	27
Fig. 5 Sistema de llaves atrapadas marca Fortress	29
Fig. 6 Robot paletizador de Mexico	34
Fig. 7 Robot Encartonador	34
Fig. 8 Robot Magazine	35
Fig. 9 Punto de acceso no monitoreado.....	35
Fig. 10 Punto de Acceso monitoreado con cortina de luz.....	36
Fig. 11 Modelación de entorno cerramiento zona de paletizado.....	37
Fig. 12 Ejemplo de toma de información en campo, Medición de malla	37
Fig. 13 Modelación de entorno segundo piso	38
Fig. 14 Modelación de entorno estructura de robot pallet.....	38
Fig. 15 robot magazine.....	38
Fig. 16 Entorno completo vista ortogonal.....	39
Fig. 17 Malla creada como iPart	39
Fig. 18 División en zonas del paletizador	40
Fig. 19 Propuesta Acceso 1	40
Fig. 20 Propuesta para a las escaleras del robot encartonador 1	41
Fig. 21 Propuesta para a las escaleras del robot encartonador 2	41
Fig. 22 Propuesta para el acceso del montacargas	42
Fig. 23 Separación del magazine.....	42
Fig. 24 Acceso al magazine.....	43
Fig. 25 Propuesta a la salida del paletizador	43
Fig. 26 Sistema Muting	44
Fig. 27 LOTO en escaleras tipo jaula.....	44
Fig. 28 Puerta deslizante nueva con llave AZM300 con antipánico.....	44
Fig. 29 Cerramiento nuevo.....	45

Fig. 30 Propuesta de sistema anticaídas robot encartonador 1	45
Fig. 31 Propuesta de anticaídas robot encartonador 2.....	46
Fig. 32 Propuesta de sistema anticaídas robot paletizador.....	46
Fig. 33 Sistema anticaídas, piston-eje-buje.....	48
Fig. 34 Layout de paletizadora con los dispositivos de seguridad propuestos.....	51
Fig. 35 Control del sistema de seguridad	52
Fig. 36 Plano de ubicación de las propuestas mecánicas para mejorar la seguridad y reducir los riesgos asociados a la operación del paletizador	53
Fig. 37 Ejemplo plano de montaje de actuador AZM300	53
Fig. 38 Lamina a fabricar en corte laser que será soporte de actuador AZM300	54
Fig. 39 Muestra del código para organizar dataframes con información de la lista de materiales y ensambles	54
Fig. 40 Muestra del código para la creación y organización del reporte de excel con la lista de materiales y ensamblajes.....	55
Fig. 41 código de ejecución de los modules de manejo de dataframes y creación del reporte en excel	55
Fig. 42 Lista de partes por plano de ensamble	56
Fig. 43 Lista de partes por plano de ensamble	56
Fig. 44 Lista de partes por plano de ensamble	57
Fig. 45 Lista de partes por plano de ensamble	57
Fig. 46 Lista de partes por plano de ensamble	58
Fig. 47 Lista de partes por plano de ensamble	58
Fig. 48 Lista de partes individuales en cantidades totales.....	59
Fig. 49 Lista de partes individuales en cantidades totales.....	59
Fig. 50 Llenadora en Mexico	60
Fig. 51 Acceso con puerta pivotante doble	61
Fig. 52 Acceso puerta pivotante 1	61
Fig. 53 Acceso puerta pivotante 2.....	62
Fig. 54 Acceso puerta pivotante 3.....	62
Fig. 55 Escaleras	62
Fig. 56 Estructura del cerramiento	63

Fig. 57 Entorno Base.....	63
Fig. 58 Entorno de Llenadora.....	64
Fig. 59 Concepto para el acceso de puerta pivotante doble	64
Fig. 60 Concepto para el acceso de puerta pivotante 1	65
Fig. 61 Concepto para el acceso de puerta pivotante 2	65
Fig. 62 Concepto para el acceso de puerta pivotante 3	66
Fig. 63 Concepto para instalación de candado LOTO en escalera.....	66
Fig. 64 Montaje de AZM300.....	67
Fig. 65 Layout de dispositivos de seguridad para la llenadora de Mexico	68
Fig. 66 Control de sistema de seguridad de llenadora de Mexico.....	69
Fig. 67 Plano de ubicación de las propuestas mecánicas para mejorar la seguridad y reducir los riesgos asociados a la operación del llenadora	70
Fig. 68 Lista de partes por ensamble de la llenadora	70
Fig. 69 Lista de partes por ensamble de la llenadora continuación.....	71
Fig. 70 Lista de partes total llenadora	71
Fig. 71 Entorno de depaletizadora.....	73
Fig. 72 Concepto de seguridad de puerta deslizante 1	74
Fig. 73 Concepto de seguridad de puerta deslizante 2	75
Fig. 74 Concepto de seguridad de puerta deslizante 3	75
Fig. 75 Concepto de seguridad de puerta deslizante 4	76
Fig. 76 Concepto de seguridad de puerta pivotante	76
Fig. 77 Botonera y módulo de llaves.....	77
Fig. 78 Concepto para el sistema anticaidas, piston doble.....	77
Fig. 79 Concepto de montaje del sistema anticaidas.....	78
Fig. 80 Cremallera del sistema anticaidas	78
Fig. 81 Estructura de soporte para tablero electrico.....	78
Fig. 82 Datasheet de piston compacto festo	80
Fig. 83 Dimension distancia entre centros de oblongo	80
Fig. 84 Dimension distancia vertical entre los pistones del sistema anticaidas	81
Fig. 85 union entre el pistón compacto y el eje del sistema anticaidas por medio de un caballete.....	81
Fig. 86 Plano de maquinado del buje para sistema anticaidas	82

Fig. 87 Plano de maquinado de eje del sistema anticaidas.....	82
Fig. 88 chapas fabricadas por corte laser, doblado, pintadas en ral 1003 y llave AZM150	83
Fig. 89 Soporte de los pistones anticaidas, fabricado por corte laser, doblado y pintado en ral 3020	84
Fig. 90 Soporte para tablero en acero inoxidable.....	84
Fig. 91 Cremalleras anticaidas y partes fabricadas por corte laser	85
Fig. 92 Montaje de dispositivos del acceso 1	86
Fig. 93 Llave AZM150 en acceso 1	86
Fig. 94 Llave atrapada en acceso 1	87
Fig. 95 Montaje de dispositivos del acceso 2.....	87
Fig. 96 Llave AZM150 acceso 2.....	88
Fig. 97 Llave atrapada acceso 2	88
Fig. 98 Montaje de dispositivos del acceso 3.....	89
Fig. 99 Llave atrapada acceso 3	89
Fig. 100 Llave AZM150 acceso 3.....	90
Fig. 101 Montaje dispositivos del acceso 4.....	90
Fig. 102 Llave AZM150 acceso 4.....	91
Fig. 103 Llave atrapada del acceso 5	91
Fig. 104 Montaje de dispositivos en el acceso pivotante	92
Fig. 105 Montaje de botonera y módulo de llaves	92
Fig. 106 Llave atrapada en puerta pivotante	93
Fig. 107 Llave AZM150 en acceso pivotante	93
Fig. 108 Llave Maestra.....	93
Fig. 109 Robot depaletizador con sistema anticaidas montado	94
Fig. 110 Montaje de cremallera anticaidas y sistema anticaidas 1.....	94
Fig. 111 Montaje de cremallera anticaidas y sistema anticaidas 2.....	95
Fig. 112 Distribución de los dispositivos de seguridad.....	96
Fig. 113 Rele de seguridad Schmersal	96
Fig. 114 Control de seguridad.....	97

Siglas, acrónimos y abreviaturas

PTE-PTS	Perfilería Tubular Estructural – Pipe Tube Structure
ACERO HR	Acero Hot Rolled (<i>Laminado en caliente</i>)
BOM	Bills Of Materials(<i>Lista de materiales</i>)
CAD	Computer-Aided Design (<i>Diseño asistido por computación</i>)
CAE	Computer-Aided Engineering (<i>Ingeniería asistida por computación</i>)
ISO	International Organization for Standardization (<i>Organización Internacional de Normalización</i>)
LOTO	<i>Lockout–Tagout (Bloqueo y Etiquetado)</i>
PL	Performance Level (<i>Nivel de Prestación</i>)
SIL	Safety Integrity Level (<i>Nivel de Integridad de Seguridad</i>)

Resumen

El presente informe describe el desarrollo de dos proyectos orientados a la seguridad de maquinaria industrial, ejecutados en la empresa SAMCO Safety S.A.S., uno en colaboración con Schmersal y otro de manera independiente. Ambos proyectos tuvieron como propósito realizar un análisis de riesgos, diseñar medidas de protección y garantizar la conformidad con los estándares internacionales de seguridad de máquinas.

El primer proyecto se llevó a cabo en la planta en México, donde se analizaron los riesgos asociados a un robot paletizador, un robot organizador de cartón y un robot magazine de pallets. La metodología incluyó la aplicación de la norma ISO 12100 para la identificación de peligros, así como la definición de funciones de seguridad conforme a ISO 13849-1. El resultado final consistió en la elaboración de planos y documentación técnica, que contemplan el uso de guardas metálicas cortados por láser, cerramientos modulares Satech y dispositivos Schmersal con soportes también producidos por corte laser y utilizando tubería estructural, para garantizar el nivel de seguridad requerido.

El segundo proyecto se ejecutó en Boyacá (Colombia), en un sistema de robot paletizador. En este caso, además del análisis de riesgos y diseño, se llevó a cabo la fabricación e instalación de los sistemas propuestos, incluyendo estructuras metálicas de soporte, un sistema anti-caída de pallets y la integración de dispositivos de seguridad Schmersal.

En conclusión, ambos proyectos evidencian la importancia de integrar el diseño, la tecnología y la normativa internacional para lograr entornos industriales más seguros, eficientes y confiables.

Palabras clave: seguridad de máquinas, análisis de riesgos, ISO 12100, ISO 13849, robot paletizador, sistemas de protección.

Abstract

This report presents the development of two industrial machinery safety projects carried out at SAMCO Safety S.A.S., one in collaboration with Schmersal and another independently. Both projects aimed to conduct a risk analysis, design protective measures, and ensure compliance with international safety standards.

The first project was implemented at ARCA Continental in Culiacán, Mexico, involving a palletizing robot, a cardboard-organizing robot, and a robot magazine for pallets. The methodology followed ISO 12100 for hazard identification and ISO 13849-1 and IEC 62061 for safety functions. The outcome consisted of technical drawings and documentation, including laser-cut metal guards, Satech modular enclosures, and Schmersal safety devices.

The second project, in Duitama, Boyacá (Colombia), included not only design but also the manufacturing and installation of safety solutions, such as support structures, an anti-freefall system, and Schmersal devices. Both projects highlight the relevance of applying international standards to achieve safe, reliable, and efficient industrial environments.

Keywords: machine safety, risk analysis, ISO 12100, ISO 13849, palletizing robot, protective systems.

1. Introducción

La seguridad en el contexto industrial constituye un pilar fundamental para garantizar la integridad de los trabajadores, la confiabilidad de los procesos productivos y el cumplimiento de la normativa internacional. El uso creciente de robots industriales y sistemas automatizados en tareas de manipulación, transporte y organización de materiales ha incrementado la necesidad de aplicar metodologías sistemáticas de análisis de riesgos y de implementar medidas de protección adecuadas. Las normas internacionales, en particular las series ISO e IEC, proporcionan lineamientos precisos para la identificación de peligros, la reducción de riesgos y el diseño de funciones de seguridad en los sistemas de control.

En este marco, el presente trabajo se centra en el análisis de riesgos y la implementación de medidas de seguridad en un sistema compuesto por un robot paletizador, dos robots encartonadores y un magazine. La evaluación se orientó a la reducción de riesgos mediante:

- El diseño de resguardos físicos en placas metálicas cortadas por láser.
- La integración de cerramientos modulares de la marca Satech.
- La utilización de sensores, enclavamientos y actuadores de seguridad de la marca Schmersal.
- Un sistema anticaída para los robots ya que en caso de un corte de energía o que se apague forzosamente el sistema, los robots y/o herramientas que tienen energía potencial gravitacional, puedan ser frenados.

El objetivo fue asegurar que el sistema alcance la categoría de seguridad y nivel de rendimiento requeridos conforme a las normas internacionales vigentes, tales como ISO 12100, ISO 14120, ISO 14119, ISO 13849-1, IEC 62061 e ISO 10218, que regulan desde el análisis de riesgos y el diseño de resguardos hasta la validación de funciones de seguridad en sistemas robotizados.

De este modo, el informe expone el proceso de análisis, diseño e implementación de las medidas de seguridad adoptadas, así como la verificación de su conformidad con los estándares aplicables, contribuyendo al desarrollo de entornos industriales más seguros y eficientes.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar adecuaciones en seguridad industrial para celdas de paletizado, llenadora y depaletizadora automatizadas, mediante el modelado CAD del entorno y la integración de dispositivos de protección y control, garantizando la conformidad con las normativas técnicas internacionales aplicables y la reducción efectiva de riesgos en el entorno de trabajo.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar y evaluar los peligros asociados al funcionamiento de los robots y sus periféricos mediante la aplicación de metodologías establecidas en la norma ISO 12100.
- Definir y validar funciones de seguridad de acuerdo con los requerimientos de las normas ISO 13849-1 e IEC 62061, verificando el nivel de rendimiento (PL) o nivel de integridad de seguridad (SIL) alcanzado.
- Diseñar sistemas de protección física mediante resguardos metálicos, cerramientos modulares y estructuras de soporte, asegurando su efectividad conforme a la norma ISO 14120.
- Integrar dispositivos de seguridad como sensores, enclavamientos y actuadores de la marca Schmersal, garantizando la confiabilidad de las funciones de seguridad.
- Elaborar documentación técnica y planos de diseño, y en los casos aplicables, realizar la fabricación, montaje e instalación de las soluciones propuestas.
- Realizar seguimiento a la fabricación y montaje de las partes necesarias para el proyecto en Boyacá

3. Marco teórico

La seguridad en la interacción hombre-máquina constituye uno de los pilares fundamentales en el diseño de sistemas industriales. La creciente automatización de procesos ha incrementado la necesidad de garantizar que los equipos no solo cumplan con su función productiva, sino que además reduzcan los riesgos a los que se exponen los operadores y demás trabajadores. En este contexto, el diseño mecánico juega un papel esencial, ya que desde las primeras etapas de concepción de una máquina deben considerarse factores como la resistencia de materiales, la accesibilidad, las distancias de seguridad y la incorporación de sistemas de protección. La norma ISO 12100 (2010) establece que la seguridad de la maquinaria debe basarse en principios generales de diseño y en una evaluación sistemática de riesgos, con el fin de eliminarlos o reducirlos a niveles aceptables desde la fase de diseño [1].

De acuerdo con la norma ISO 12100 (2010), la evaluación de riesgos se desarrolla mediante un proceso sistemático que inicia con la identificación de los peligros asociados a la máquina, considerando aspectos mecánicos, eléctricos, térmicos o relacionados con la ergonomía. Posteriormente, se realiza una estimación del riesgo, en la que se analiza tanto la gravedad del posible daño como la probabilidad de que ocurra. Finalmente, la norma propone una valoración del riesgo que permite decidir si el nivel encontrado es aceptable o si se requieren medidas adicionales de protección, ya sea mediante modificaciones en el diseño, la incorporación de resguardos o la implementación de sistemas de control de seguridad [1].

La identificación de peligros constituye el primer paso en la evaluación de riesgos y resulta esencial para comprender la magnitud de las medidas de seguridad requeridas. La norma ISO 12100 (2010) ofrece en su Tabla 1 una clasificación detallada de los principales tipos de peligros asociados a la maquinaria, que incluyen peligros mecánicos (atrapamiento, corte, impacto), eléctricos, térmicos, de ruido y vibración, así como aquellos derivados de factores ergonómicos o ambientales. Esta clasificación permite al diseñador anticipar los escenarios de riesgo desde la fase inicial de desarrollo, asegurando que cada peligro sea tratado mediante soluciones técnicas adecuadas, ya sea mediante cambios en el diseño, la instalación de resguardos o la implementación de dispositivos de control [1].

Tabla 1
Clasificación de principales peligros asociados a maquinas

No	Type or group	Examples of hazards		Subclause of this International Standard
		Origin	Potential consequences	
1	Mechanical hazards	<ul style="list-style-type: none"> - acceleration, deceleration; - angular parts; - approach of a moving element to a fixed part; - cutting parts; - elastic elements; - falling objects; - gravity; - height from the ground; - high pressure; - instability; - kinetic energy; - machinery mobility; - moving elements; - rotating elements; - rough, slippery surface; - sharp edges; - stored energy; -vacuum 	<ul style="list-style-type: none"> being run over being thrown crushing cutting or severing drawing-in or trapping entanglement friction or abrasion impact injection shearing slipping, tripping and falling stabbing or puncture suffocation. 	<ul style="list-style-type: none"> 6.2.2.1 6.2.2 6.2.3 a) 6.2.3 b) 6.2.6 6.3.1 6.3.2 6.3.3 6.3.4 6.3.5 6.4.1 6.4.3 6.4.4 6.4.5
2	Electrical hazards	<ul style="list-style-type: none"> - arc; - electromagnetic phenomena; electrostatic phenomena; - live parts; - insufficient distance to live parts under high voltage; - overload; - parts which have become live under fault conditions; - short-circuit; - thermal radiation. 	<ul style="list-style-type: none"> burn; chemical effects; effects on medical implants; electrocution; falling, being thrown; fire; projection of molten particles; shock. 	<ul style="list-style-type: none"> 6.2.9 6.3.2 6.3.3.2 6.3.5.4 6.4.4
3	Thermal hazards	<ul style="list-style-type: none"> - explosion; - flame; - objects or materials with a high or low temperature; -radiation from heat sources. 	<ul style="list-style-type: none"> burn; dehydration; discomfort; frostbite; injuries by the radiation of heat sources; scald. 	<ul style="list-style-type: none"> 6.2.4 b) 6.2.8 6.3.2.7 6.3.4.5

4	Noise hazards	- cavitation phenomena; - exhausting system; - gas leaking at high speed; - manufacturing process (stamping, cutting, etc.); - moving parts; scraping surfaces; - unbalanced rotating parts; - whistling pneumatics; - worn parts.	discomfort; loss of awareness; loss of balance; permanent hearing loss; stress; tinnitus; tiredness; interference with communication or acoustic signals.	6.2.2.2 6.2.3 c) 6.2.4 c) 6.3.1 6.3.2.1 6.4.5.1 b) and c)
5	Vibration hazards	cavitation phenomena; misalignment of moving parts; mobile equipment; scraping surfaces; unbalanced rotating parts; vibrating equipment; worn parts.	discomfort; low-back morbidity; neurological disorder; osteo-articular disorder; trauma of the spine; vascular disorder.	6.2.2.2 6.2.3 c) 6.2.8
6	Radiation hazards	ionizing radiation source; low frequency electromagnetic radiation; optical radiation (infrared, visible and ultraviolet), including laser; radio frequency electromagnetic radiation.	burn; damage to eyes and skin; effects on reproductive capability; mutation; headache, insomnia, etc.	6.2.2.2 6.3.3.2.1 6.3.4.5
7	Material/substance hazards	aerosol; biological and microbiological (viral or bacterial) agent; combustible; dust; explosive; fibre; flammable; fluid; fume; gas; mist; oxidizer.	breathing difficulties; suffocation; cancer; corrosion; effects on reproductive capability; explosion; fire; infection; mutation; poisoning; sensitization.	6.2.2.2 6.2.3 6.3.2
8	Ergonomic hazards	access; design or location of indicators and visual displays units; design, location or identification of control devices; effort; flicker, dazzling, shadow, stroboscopic effect; local lighting; mental overload/underload; posture; repetitive activity; visibility.	discomfort; fatigue; musculoskeletal disorder; stress; human error leading to other hazards.	6.2.2.1 6.2.7 6.2.8
9	Hazards associated with the environment in which the machine is used	dust and fog; electromagnetic disturbance; lightning; moisture; pollution; snow; temperature; water; wind; lack of oxygen.	burn; slight disease; slipping; falling; suffocation; other consequences due to environmental effects on the machine.	6.2.6 6.2.11 6.3.2.1

10	Combination of hazards	for example, repetitive activity + effort + high environmental temperature	for example, dehydration, loss of awareness, heat stroke	—
<p>a A single origin of a hazard can have several potential consequences.</p> <p>b For each type of hazard or group of hazards, some potential consequences can be related to several origins of hazard.</p>				

Nota: 1 Clasificación de peligros y sus posibles consecuencias según la norma ISO 12100:2010 (Tabla B.1) [1].

La norma ISO 12100 establece una jerarquía de medidas de reducción de riesgos que orienta al diseñador en la selección de soluciones apropiadas. En primer lugar, se deben aplicar medidas de diseño intrínsecamente seguras, eliminando peligros desde el origen mediante la elección de geometrías, materiales o disposiciones que reduzcan el riesgo. Cuando esto no es posible, se implementan resguardos físicos y dispositivos de protección complementarios, tales como cercos, cubiertas, sensores o enclavamientos. Finalmente, la tercera etapa corresponde a la provisión de información para el uso seguro, como manuales, advertencias y señalización, que permiten al operario comprender los riesgos residuales y actuar de manera preventiva [1]. Esta jerarquía garantiza un enfoque sistemático en el que las soluciones técnicas prevalecen sobre la simple advertencia.

La evaluación de riesgos en maquinaria, de acuerdo con la norma ISO 12100:2010, debe desarrollarse de manera sistemática siguiendo una estrategia definida:

- a. Se determinan los límites de la máquina, lo que incluye tanto el uso previsto como el uso indebido razonablemente previsible.
- b. Se identifican los peligros y las situaciones peligrosas asociadas.
- c. Se estima el nivel de riesgo de cada peligro identificado
- d. Se evalúa la necesidad de aplicar medidas de reducción.
- e. Se procede a eliminar los peligros o reducir los riesgos mediante medidas de protección o controles técnicos adecuados.

Con este enfoque, la norma distingue claramente que las acciones de la a) a la d) corresponden a la evaluación de riesgos, mientras que la acción e) forma parte de la reducción de riesgos, garantizando un procedimiento estructurado y coherente. Se asume que cuando existe una forma de peligro en una máquina, tarde o temprano esta causara daño si no se toman medidas preventivas [1].

Un ejemplo práctico de este proceso se observa en el análisis de riesgos aplicado a un robot industrial utilizado en líneas de ensamble. Durante la fase de identificación de peligros, se reconocen riesgos como el atrapamiento de extremidades por el movimiento de los brazos robóticos o el impacto por trayectorias no previstas. En la estimación del riesgo, se evalúa que la gravedad de las lesiones puede ser alta debido a la fuerza y velocidad de los actuadores, mientras que la probabilidad aumenta si el acceso no está adecuadamente restringido. Finalmente, en la valoración del riesgo, la solución más efectiva puede ser la implementación de resguardos físicos (barreras o cercos de seguridad), combinados con sensores de presencia que detengan el funcionamiento de la máquina al detectar una intrusión en la zona de peligro, medidas que corresponden a los principios de reducción de riesgos establecidos en la ISO 12100 [1].

La aplicación de estas metodologías de evaluación de riesgos se hace especialmente evidente en los sistemas de envasado y reutilización de botellas, donde múltiples máquinas interactúan de manera secuencial. Estos equipos, que incluyen zonas de paletizado y depaletizado, representan escenarios típicos en los que los principios de seguridad y diseño mecánico deben integrarse para garantizar tanto la continuidad de la producción como la protección de los trabajadores.

La aplicación de estas metodologías de evaluación de riesgos se hace especialmente evidente en los sistemas de envasado y reutilización de botellas, donde múltiples máquinas interactúan de manera secuencial. Estos equipos representan escenarios típicos en los que los principios de seguridad y diseño mecánico deben integrarse para garantizar tanto la continuidad de la producción como la protección de los trabajadores.

En un sistema de producción de bebidas retornables, las botellas pasan por una secuencia de operaciones que permite su reutilización bajo condiciones seguras e higiénicas. Inicialmente, los envases llegan organizados en palets y son descargados mediante equipos de depaletizado. Posteriormente, se separan de las canastas en las que son transportados y se someten a un proceso de lavado intensivo para eliminar residuos. Una vez limpias, las botellas avanzan hacia la zona de llenado y posteriormente al empaque, donde se agrupan en canastas o paquetes. Finalmente, se organizan en palets mediante sistemas de paletizado y, en algunos casos, se envuelven para facilitar su transporte y distribución. Este ciclo integra diferentes máquinas interconectadas, que aseguran tanto la eficiencia logística como la reducción de desperdicios al prolongar la vida útil de cada envase.

El depaletizado corresponde a la primera fase del proceso, en la que ingresan palets con botellas vacías y se separan automáticamente las estibas de las canastas. A través de mecanismos de elevación y transporte, las canastas se liberan una a una y se dirigen hacia los equipos de desencajonado, donde las botellas se extraen para continuar al proceso de lavado. Esta operación requiere gran precisión, ya que se manipulan simultáneamente unidades pesadas y frágiles, lo que justifica la integración de sistemas de seguridad que controlen accesos y detengan el funcionamiento en caso de detección de intrusiones o fallas.

La etapa de paletizado constituye una de las fases finales del proceso, en la que se agrupan los envases llenos en canastas o paquetes y se organizan sobre estibas para conformar palets listos para su despacho. El sistema funciona de manera automática: por un lado ingresan las canastas o paquetes con producto terminado, y por el otro las estibas vacías. El equipo dispone las unidades en capas sucesivas hasta conformar una carga completa y estable. Este procedimiento suele complementarse con robots encargados de manipular cartón u otros elementos de embalaje, cuya función es reforzar la estabilidad del conjunto y proteger los productos durante el transporte. La correcta operación de esta zona es crítica, pues implica el manejo de cargas pesadas y movimientos repetitivos que, de no contar con protecciones adecuadas, representan riesgos significativos para los operarios.

El diseño mecánico seguro requiere la integración de principios de ingeniería que garanticen tanto la funcionalidad como la protección del usuario. En primer lugar, la resistencia de materiales resulta fundamental para asegurar que los componentes estructurales soporten las cargas previstas sin fallar, lo cual ha sido ampliamente estudiado en la mecánica de materiales (Beer y Johnston, 2014) [3]. Asimismo, deben considerarse criterios de ergonomía y accesibilidad, de manera que las operaciones de montaje, ajuste o mantenimiento puedan realizarse sin exponer al trabajador a riesgos innecesarios. Otro aspecto clave corresponde a las distancias de seguridad, las cuales se definen para impedir el alcance de partes peligrosas de la máquina; en este sentido, la norma ISO 13857 (2019) establece parámetros claros para prevenir que las extremidades superiores o inferiores del operador ingresen a la zona de riesgo [4]. De esta forma, el diseño mecánico no solo cumple con requisitos estructurales, sino que también actúa como una primera barrera de protección frente a los accidentes.

En el caso de robots industriales, el diseño de cerramientos físicos se guía por las distancias mínimas establecidas en la norma ISO 13857 (2019), que determinan la altura y la separación de

las barreras en función de la ubicación de la zona de peligro. Por ejemplo, si el punto de riesgo se encuentra a 1200 mm del suelo y se instala una barrera de 1600 mm de altura, la norma exige un distanciamiento horizontal de al menos 900 mm para impedir el acceso del operador con las extremidades superiores [4]. Estas especificaciones permiten definir de manera objetiva la geometría de los cercos de seguridad que rodean a los robots, garantizando que los trabajadores no puedan introducir las manos o brazos en la zona de alcance de los actuadores, aun cuando intenten extenderse sobre el resguardo. De esta forma, el diseño de cerramientos no solo responde a criterios estructurales, sino que también se convierte en una herramienta fundamental para la reducción del riesgo residual en entornos de automatización. La Tabla 2 combina dos tablas de ISO 13857 que facilita la determinación de la distancia horizontal mínima entre un resguardo y la zona de peligro según la altura del peligro y la altura del resguardo.

Tabla 2
Distancia horizontal segura en base a la altura de la guarda y la zona de peligro

Altura de zona de peligro (mm) a,	Altura de estructura protectora (mm) b nota 1								
	1000	1200	1400 note 3	1600	1800	2000	2200	2400	2500
	Distancia horizontal segura desde estructura protectora hasta la zona de peligro (mm)								
2600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	900	800	700	600	600	500	400	300	100
2400	100	100	100	100	100	100	100	100	-
	1100	1000	900	800	700	600	400	300	100
2200	600	600	500	500	400	350	250	-	-
	1300	1200	1000	900	800	600	400	300	-
2000	1100	900	700	600	500	350	-	-	-
	1400	1300	1100	900	800	600	400	-	-
1800	1100	1000	900	900	600	-	-	-	-
	1500	1400	1100	900	800	600	-	-	-
1600	1300	1000	900	900	500	-	-	-	-
	1500	1400	1100	900	800	500	-	-	-
1400	1300	1000	900	800	100	-	-	-	-
	1500	1400	1100	900	800	-	-	-	-
1200	1400	1000	900	500	-	-	-	-	-
	1500	1400	1100	900	700	-	-	-	-
1000	1400	1000	900	300	-	-	-	-	-
	1500	1400	1000	800	-	-	-	-	-
800	1300	900	600	-	-	-	-	-	-
	1500	1300	900	600	-	-	-	-	-
600	1200	500	-	-	-	-	-	-	-

400	1400	1300	800	-	-	-	-	-	-
	1200	300	-	-	-	-	-	-	-
200	1400	1200	400	-	-	-	-	-	-
	1100	200	-	-	-	-	-	-	-
0	1200	900	-	-	-	-	-	-	-
	1100	200	-	-	-	-	-	-	-
	1100	500	-	-	-	-	-	-	-

Nota: 1 Estructuras mecánicas de una altura menor de 1000mm no se mencionan ya que estas no aseguran una adecuada protección.

Nota: 2 Para cada combinación de altura se observa 2 distancias horizontales, la primera indica la distancia horizontal para casos de bajo riesgo (puede causar lesiones menores y poco frecuentes) la segunda es para casos de alto riesgo (lesiones graves y con mayor frecuencia)

Nota: fuente Esta tabla combina la tabla 1 y 2 del estándar ISO 13857:2019.

Cuando los resguardos físicos no son suficientes, la seguridad debe complementarse con sistemas de control que garantizan la integridad funcional del equipo. La norma ISO 13849-1:2023 establece los principios para el diseño de las partes de los sistemas de control relacionadas con la seguridad, definiendo categorías y niveles de rendimiento (*Performance Levels, PL*) que permiten evaluar la fiabilidad de componentes como paradas de emergencia, enclavamientos o sensores de seguridad [2]. De esta manera, se asegura que incluso en caso de fallo, el sistema mantenga un nivel aceptable de protección para el operador.

Dentro de la norma ISO 13849-1, uno de los conceptos clave es el de niveles de rendimiento (*Performance Levels, PL*), que permiten cuantificar la fiabilidad de las funciones de seguridad implementadas en los sistemas de control. Estos niveles se clasifican de PL a (fiabilidad más baja) hasta PL e (fiabilidad más alta), y su determinación depende de factores como la arquitectura del sistema, la calidad de los componentes, la detección de fallos y la cobertura diagnóstica [2]. Cada nivel está asociado a una probabilidad media de fallo peligroso por hora (*Probability of Dangerous Failure per Hour, PFHd*), lo que permite comparar la capacidad de diferentes soluciones de control. En la práctica, un sistema diseñado con “PL d” o “PL e” es requerido en situaciones donde la consecuencia de un fallo podría ser grave o letal, mientras que aplicaciones de menor riesgo pueden emplear PL inferiores. Este marco proporciona al diseñador una herramienta objetiva para seleccionar y justificar la robustez necesaria de las medidas de control de seguridad en una máquina.

Tabla 3
Nivel de prestación de acuerdo al estandar ISO 13849-1

Nivel de prestación (PL)	Probabilidad media de fallo peligroso por hora (PFHd)	Fiabilidad relativa
PL a	$\geq 10^{-5}$ a $< 10^{-4}$	Muy baja
PL b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ a $< 10^{-5}$	Baja
PL c	$\geq 10^{-6}$ a $< 3 \times 10^{-6}$	Media
PL d	$\geq 10^{-7}$ a $< 10^{-6}$	Alta
PL e	$\geq 10^{-8}$ a $< 10^{-7}$	Muy alta

Nota: 2 tabla basada en ISO 13849-1:2023 [2], se añade una columna de fiabilidad relativa para simplificar lectura.

La determinación del PL adecuado para una función de seguridad debe estar sustentada en el análisis de riesgos realizado previamente bajo ISO 12100, lo que garantiza una coherencia entre el nivel de peligro identificado y la robustez técnica de la medida de control aplicada. De este modo, el diseño seguro integra tanto la perspectiva del riesgo como la fiabilidad de los sistemas destinados a mitigarlo.

La norma ISO 13849-1 propone un método gráfico (**Error! Reference source not found.**) para determinar el nivel de rendimiento requerido (PLr) de una función de seguridad, en función de tres factores principales: la severidad de la lesión (S), la frecuencia y/o tiempo de exposición al peligro (F) y la posibilidad de evitar el peligro (P), cada uno de estos presenta dos posibles casos que son:

- S1 = Leve (Herida reversible)
- S2 = Serio (Herida irreversible o muerte)
- F1 = Poco frecuente o de exposición de tiempo corta
- F2 = De frecuente a continua y de exposición de tiempo largo
- P1 = Posible bajo ciertas circunstancias
- P2 = Bajo condiciones actuales difícilmente posible

A partir de la combinación de estos parámetros, el gráfico (Fig. 1) conduce a un nivel de rendimiento requerido que va desde “PL a” hasta “PL e”. De este modo, si la consecuencia de un fallo es grave (S2), la exposición es frecuente (F2) y la posibilidad de evitación es reducida (P2) La Tabla 4 ayuda a seleccionar el parámetro P, el resultado exigirá un nivel de fiabilidad alto, correspondiente a PL d o PL e. Por el contrario, situaciones con lesiones leves, baja frecuencia de

exposición y alta posibilidad de evitación, podrán resolverse con PL a o PL b. Este procedimiento asegura una correlación objetiva entre el riesgo identificado y la robustez que debe tener el sistema de control encargado de mitigar dicho riesgo [2].

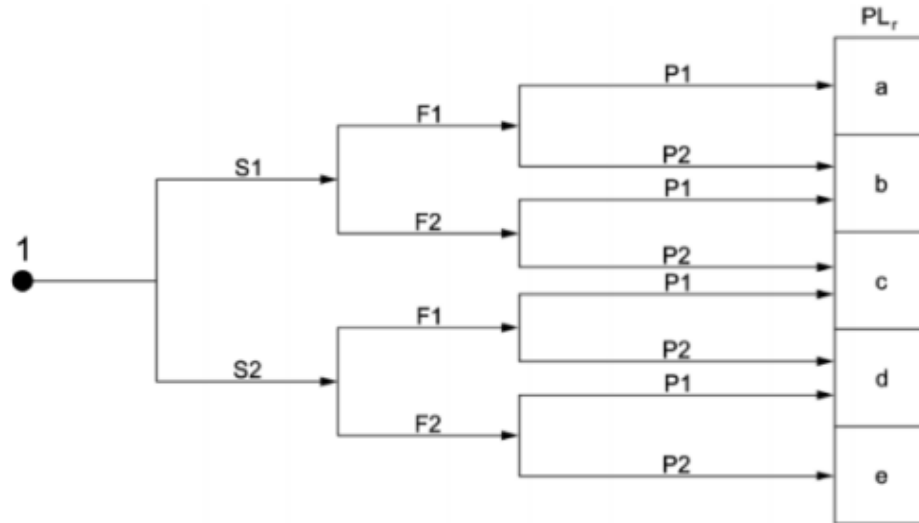


Fig. 1 Grafico ilustrativo en la evaluación de PL (nivel de prestación)

Nota: fuente Schmersal Inc. Practical Safety Solution for Setup Mode 2018 [6]

Tabla 4 Determinación del parámetro P.

Determinación del parámetro P	A	B	C
La máquina es usada por	Técnico	Persona no especializada	-
velocidad de la máquina que causa situación peligrosa	baja velocidad	velocidad mínima	Alta velocidad
Posibilidad física de evitar el peligro	posible en al menos 50% de los casos	posible en menos del 50% de los casos	Imposible
Posibilidad de reconocer/sentir la zona peligrosa	posible en al menos 50% de los casos	solo posible en menos del 50% de los casos	Imposible
Complejidad de operación	baja complejidad o sin interacción	complejidad media o alta	-

Nota: Si “C” ó “B” es seleccionado al menos 3 veces, se obtiene el parámetro P2. Si “C” no es seleccionado y “B” es seleccionado 2 veces, se obtiene P1 o P2 dependiendo de la situación Si “C” no es seleccionado y “B” no es seleccionado mas de 1 veces, se obtiene P1

En el marco de la ISO 13849-1, además de los niveles de rendimiento (PL), se definen categorías de diseño que especifican las arquitecturas mínimas necesarias para lograr la fiabilidad deseada. Estas categorías, que van desde la Categoría B hasta la Categoría 4, indican el grado de resistencia frente a fallos y la capacidad del sistema para detectarlos. Mientras que en la categoría B los sistemas ofrecen una protección básica sin diagnóstico de fallos, en las categorías 3 y 4 se exige redundancia y supervisión continua, de modo que un único fallo no conduzca a la pérdida de la función de seguridad. La correcta selección de la categoría constituye, junto con el PL, una garantía de que los sistemas de control cumplirán su función de forma robusta y coherente con el nivel de riesgo identificado [2].

Los dispositivos de protección electro-sensibles constituyen una de las soluciones más utilizadas en la reducción de riesgos, especialmente en zonas de acceso frecuente. Entre ellos destacan las cortinas de seguridad Schmersal SLC 440 y SLG 440, diseñadas para detectar la interrupción de haces luminosos y detener la máquina de forma inmediata. Estos sistemas permiten proteger áreas peligrosas sin necesidad de resguardos físicos permanentes, manteniendo al mismo tiempo la productividad y la accesibilidad para operaciones de mantenimiento o carga de materiales. Además, su integración con sistemas de control de seguridad bajo la norma ISO 13849-1 facilita alcanzar niveles de prestación (PL) adecuados según el riesgo identificado.

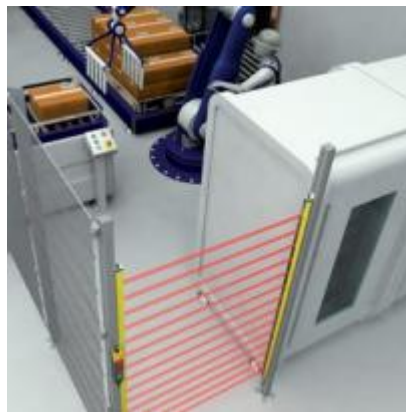


Fig. 2 Representación de cortina de luz para detectar el ingreso de personas a zona peligrosa

Nota: fuente Schmersal-Latam. (s. f.). Cortinas y Grados de Luz de Seguridad – SLC/SLG 440.[7]

El dispositivo AZM300 de Schmersal es un interbloqueo solenoide con monitoreo, diseñado para integrarse en puertas abatibles o corredizas, con codificación RFID para protección contra manipulación, tolerancias amplias de actuación y la posibilidad de configurarse con liberación manual o salida de emergencia. Cuenta con fuerza de retención ajustable, versiones con “power to lock” o “power to unlock”, y monitoreo serial para diagnóstico, además, su diseño

permite montajes simétricos y una actuación desde múltiples direcciones y grado de protección IP69 lo hace apto para entornos industriales, previniendo el acceso de personal a zonas de peligro donde puede haber acceso a maquinaria que tiene inercia, es decir que no pueden ser súbitamente detenidos. Este dispositivo evita que se pueda abrir el acceso hasta que la maquina sea detenida, mientras que al mismo tiempo cuenta con una palanca “antipánico” en caso de que alguien se encontrase en la parte interna del área de operación cuando la maquina fue puesta en funcionamiento, este antipánico permite el desbloqueo del dispositivo desde la parte interna. El AZM150 (Fig. 4 Llave y actuador AZM150 SCHMERSAL Fig. 4) es otra versión de este dispositivo, el cual cumple las mismas funciones.



Fig. 3 Llave y actuador AZM300 SCHMERSAL

Nota: fuente [8] Schmersal GmbH & Co. KG. (s. f.). AZM300 – Solenoid Interlock with Individual Code and Bi-stable Interlocking. Technical Brief



Fig. 4 Llave y actuador AZM150 SCHMERSAL

Fuente [9] Schmersal-Latam. (s. f.). Interruptor de seguridad con bloqueo AZM 150. Disponible en: <https://www.schmersal-latam.com/seguridad-industrial/interruptor-de-seguridad-con-bloqueo-azm-150>

Además de la funcionalidad de enclavamiento que ofrecen dispositivos como el AZM300, y AZM150 a pesar de que estos permiten alcanzar un alto nivel de prestación, la seguridad industrial suele basarse en el principio de redundancia, es decir, en la implementación de más de una medida de protección para garantizar que el fallo de un único elemento no comprometa la

integridad del operador. La redundancia puede ser de tipo técnico, combinando componentes electrónicos, sensores y enclavamientos con monitorización diagnóstica, o de tipo físico, mediante dispositivos mecánicos que imponen secuencias imposibles de omitir. En este sentido, los sistemas de llave atrapada representan un complemento eficaz: aseguran mediante una restricción mecánica que las operaciones de aislamiento, acceso y rearme se ejecuten en el orden correcto, reforzando la protección provista por los sistemas electrónicos de bloqueo.

Los sistemas de llave atrapada (trapped-key interlocks Fig. 5) son dispositivos mecánicos que obligan a cumplir una secuencia física de trabajo destinada a garantizar el aislamiento y la protección antes del acceso a zonas peligrosas. Su operación se basa en una llave física que queda retenida mientras la máquina permanece en condición operativa; para extraer la llave y así posibilitar la apertura de una puerta o la intervención, previamente debe haberse llevado la máquina a un estado seguro (por ejemplo, paro de la fuente de energía, bloqueo y descarga de energía almacenada). La llave extraída se emplea posteriormente para habilitar la apertura en otro punto o para autorizar operaciones de mantenimiento, imponiendo así la secuencia: aislar → verificar → extraer llave → acceder → volver a cerrar → rearmar. Estos sistemas combinan la sencillez mecánica con opciones de integración eléctrica (contactos auxiliares para señalar el estado al PLC) y proporcionan trazabilidad del procedimiento de bloqueo. Entre sus ventajas se encuentran la fuerza física de la secuencia —que dificulta la omisión intencionada de pasos— y la claridad operativa; entre sus limitaciones, la gestión física de las llaves (riesgo de pérdida o duplicado) y la necesidad de procedimientos operativos estrictos.

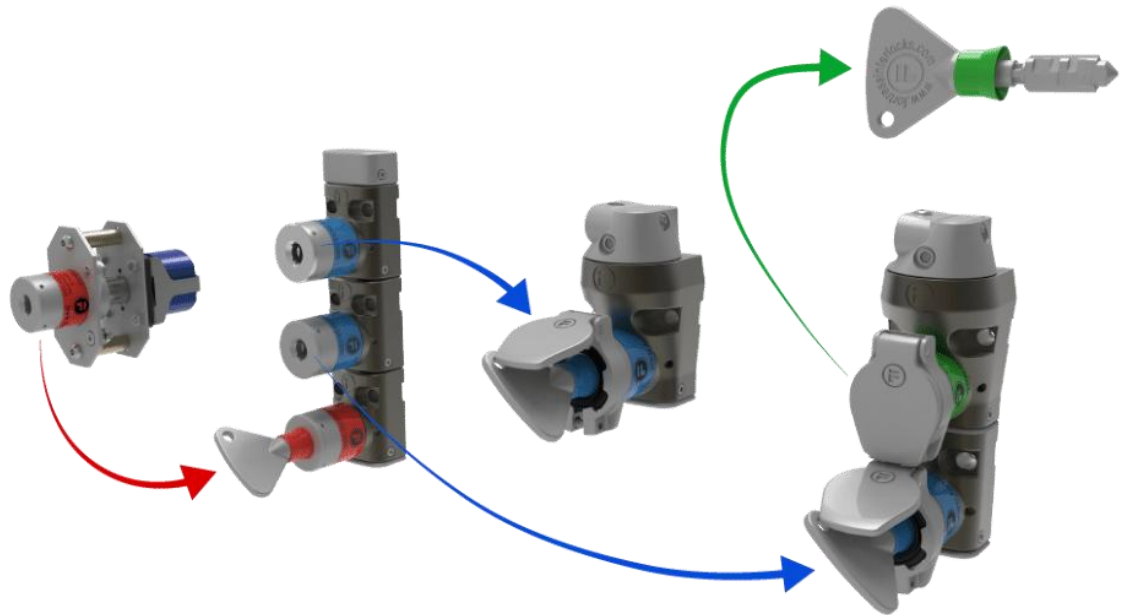


Fig. 5 Sistema de llaves atrapadas marca Fortress

Fuente [10] Fortress Safety. (s. f.). Understanding Trapped Key Systems. Disponible en: <https://fortress-safety.com/news/understanding-trapped-key-systems/>

Incluso después de aplicar medidas de diseño intrínsecamente seguras y resguardos, siempre permanece un cierto riesgo residual que no puede ser eliminado completamente. La ISO 12100 requiere que estos riesgos se comuniquen claramente al usuario mediante manuales de operación, símbolos normalizados, etiquetas de advertencia o instrucciones específicas de mantenimiento [1]. La transparencia en esta comunicación es esencial para que los operarios comprendan las limitaciones del sistema y adopten conductas preventivas, evitando la falsa percepción de una seguridad absoluta. De este modo, la gestión de riesgos no termina con el diseño físico de la máquina, sino que se extiende a la interacción cotidiana entre el equipo y sus usuarios.

Ahora bien, la aplicación de estas normas no puede desligarse de las herramientas de diseño y análisis que facilitan su implementación práctica. El diseño asistido por computadora (CAD) y el análisis por elementos finitos (CAE) se han convertido en aliados indispensables para anticipar fallas y evaluar el comportamiento estructural de los componentes. Programas como Autodesk Inventor permiten modelar, simular y verificar la respuesta mecánica de las piezas, integrando consideraciones de seguridad desde las primeras etapas del desarrollo [7][8][9]. Gracias a estas

herramientas, es posible optimizar geometrías, validar el cumplimiento de distancias de seguridad y reducir el riesgo residual antes de la construcción del prototipo físico.

En Autodesk Inventor, el software permite modelar piezas tridimensionales de manera paramétrica y organizarlas en conjuntos (ensambles), lo que posibilita la representación precisa de la máquina y sus diferentes subsistemas. Una de las funciones más relevantes es la gestión de la lista de materiales (BOM, *Bill of Materials*), que establece la relación estructurada entre componentes y conjuntos. Esta lista no solo clasifica los elementos según su jerarquía (piezas individuales, subconjuntos y ensamblajes principales), sino que también permite asociar información adicional crítica para el ciclo de diseño y fabricación, como el método de producción de cada pieza (fabricada o comprada), las descripciones técnicas, el diseñador responsable, la persona que revisa y quien finalmente aprueba el diseño. De esta manera, la BOM se convierte en una base de datos centralizada que integra tanto la geometría como la trazabilidad administrativa y técnica de cada componente, facilitando la comunicación entre diseño, fabricación y gestión de proyectos.

Dentro de la BOM, cada subensamble puede configurarse con un tipo de estructura que determina su comportamiento en la jerarquía del modelo y en los cálculos de cantidad. El tipo Normal es el más común y representa un subensamble estándar que aparece como una entidad completa dentro de la lista. El tipo Phantom se utiliza para ensamblajes intermedios que no se fabrican ni se ensamblan como una unidad independiente, sino que sirven únicamente para organizar componentes o simplificar el diseño; sus piezas hijas se muestran directamente en el nivel superior. El tipo Inseparable corresponde a conjuntos que no pueden desmontarse sin dañarse (por ejemplo, remaches o uniones soldadas), por lo que se contabilizan como una sola unidad. Inventor también ofrece tipos como Purchased, para componentes adquiridos completos, y Reference, para elementos de referencia que no afectan el conteo ni el peso total del ensamblaje. La correcta definición de estas estructuras dentro de la BOM garantiza una representación fiel del proceso real de fabricación y un control preciso de los materiales, facilitando la integración entre el diseño digital y la producción.

Otra herramienta de gran utilidad son las *iParts* en Autodesk Inventor. Un *iPart* es un componente paramétrico que permite generar múltiples variaciones de una misma pieza a partir de una tabla de parámetros. Esto resulta particularmente útil en el diseño del entorno de seguridad, ya que posibilita crear elementos repetitivos como mallas metálicas de diferentes dimensiones

utilizando un único modelo base. De esta forma, el diseño se vuelve más eficiente, coherente y flexible, facilitando la adaptación del cerramiento a las necesidades específicas de cada zona de trabajo.

Finalmente, la documentación técnica del producto desempeña un papel crucial en la transmisión precisa de la información de diseño y fabricación. La norma ISO 129-1:2018 establece lineamientos para la indicación de dimensiones y tolerancias en los planos, garantizando la coherencia en la interpretación de las especificaciones [5]. Una correcta aplicación de estas directrices no solo asegura la intercambiabilidad de piezas y la calidad del ensamblaje, sino que también contribuye indirectamente a la seguridad, al evitar errores de fabricación que puedan derivar en fallos estructurales o riesgos operativos.

4. Metodología

El desarrollo metodológico del proyecto se estructuró en una serie de etapas consecutivas que permitieron garantizar la correcta evaluación de riesgos y el diseño de soluciones de seguridad para las máquinas objeto de estudio. En primer lugar, se realizó la visita a planta con el fin de inspeccionar las máquinas involucradas —un paletizador en Culiacán y un despaletizador en Boyacá—. Durante esta fase inicial se llevó a cabo una primera evaluación de riesgos, acompañada de la toma de medidas físicas y el registro fotográfico de cada equipo, con el propósito de disponer de una memoria visual y dimensional que facilitara el análisis posterior.

Con la información recolectada en campo, se procedió a la construcción de un modelo digital en Autodesk Inventor, denominado “Entorno”, que representó el espacio de trabajo de cada máquina. Este modelo permitió complementar y detallar la evaluación de riesgos, en coherencia con los lineamientos de la norma ISO 12100 y otras normas de seguridad aplicables. A partir de esta base, se elaboró un análisis sistemático de peligros y situaciones peligrosas, lo que sirvió como fundamento para el diseño de las medidas de protección.

Posteriormente, se planteó un diseño inicial de las soluciones destinadas a reducir los riesgos identificados, generando los componentes necesarios en el entorno CAD. Dicho diseño preliminar fue presentado al cliente en reuniones de revisión, con el objetivo de explicar la propuesta de intervención sobre la máquina, obtener retroalimentación y lograr la aprobación correspondiente antes de avanzar a fases posteriores.

Una vez obtenida la validación, se elaboraron los planos técnicos y las listas de materiales (BOM) de los componentes diseñados. En el caso del paletizador de Culiacán, el proceso concluyó en esta etapa documental. Para el despaletizador de Boyacá, el trabajo continuó con la fabricación de las piezas, sus procesos de pintado y el posterior montaje en planta, completando de esta manera el ciclo de intervención definido en la metodología.

En la etapa de fabricación, los componentes suelen resolverse principalmente a partir de placas metálicas que se cortan con tecnología láser y luego se doblan para obtener la geometría requerida. Para las estructuras de soporte se emplean perfiles tubulares estructurales (PTS), los cuales se unen mediante procesos de soldadura para conformar marcos y bastidores. En casos donde se requieren tolerancias más estrictas o superficies de precisión, se recurre al mecanizado convencional de piezas específicas. Esta combinación de procesos permite asegurar un equilibrio entre la precisión dimensional, la resistencia estructural y la viabilidad productiva de los elementos diseñados.

En la fase de pintado, se emplean códigos de color normalizados que permiten diferenciar elementos de seguridad y asegurar una correcta identificación visual. Un ejemplo común es el uso del color amarillo RAL 1003, ampliamente aplicado en resguardos y barreras de protección para señalar su función preventiva y mejorar la visibilidad en el entorno de trabajo. No obstante, también se contempla la adaptación cromática de ciertos componentes a la estética de la máquina, con el fin de mantener coherencia visual y facilitar la integración del sistema. En este sentido, pueden aplicarse colores como el rojo RAL 3020 en equipos cuya estructura ya presenta dicho acabado, como es el caso de algunos sistemas de despaletizado. Esta metodología garantiza tanto el cumplimiento de criterios de seguridad industrial como la armonía con las especificaciones del cliente y el entorno de planta.

En una fase previa de pre-montaje, los componentes fabricados se organizan y ensamblan de manera parcial en el taller con el fin de verificar su ajuste dimensional y la compatibilidad entre piezas. Esta etapa permite identificar posibles interferencias, comprobar que los orificios y uniones se alinean correctamente, y asegurar que los subconjuntos se arman conforme al diseño CAD. Durante el pre-montaje también se revisa la correspondencia entre las piezas físicas y la lista de materiales (BOM), confirmando que cada elemento se encuentra completo y correctamente

identificado. Una vez validadas estas condiciones, los subconjuntos se desmontan o se trasladan de forma modular hacia la planta para proceder al montaje final sobre la máquina.

En la etapa de montaje, los componentes fabricados se trasladan a la planta para su instalación en la máquina correspondiente. El proceso incluye la fijación de marcos y placas en las posiciones definidas en el diseño, garantizando el alineamiento correcto mediante herramientas de medición y referencia. Los elementos de sujeción, como tornillería y anclajes, se seleccionan conforme a las cargas previstas y a las recomendaciones del fabricante de la máquina. Una vez ensamblados los resguardos, se verifican aspectos clave como la estabilidad estructural, el cumplimiento de las distancias de seguridad establecidas por la norma ISO 13857 y la correcta integración con los dispositivos de control y enclavamiento. Finalmente, se realiza una revisión conjunta para comprobar que no existan interferencias con el funcionamiento normal de la máquina y que la intervención cumpla con las especificaciones técnicas y de seguridad definidas en el proyecto.

La metodología descrita integra de manera secuencial las etapas de inspección, modelado digital, análisis de riesgos, diseño, validación, fabricación, pre-montaje, pintado y montaje final. Este enfoque garantiza que cada decisión técnica se respalde en criterios normativos y en la verificación práctica de los componentes, reduciendo la probabilidad de errores en planta y asegurando la coherencia entre el diseño teórico y la implementación física. De esta forma, el proceso no solo responde a las exigencias de seguridad establecidas en las normas internacionales, sino que también optimiza la comunicación entre las áreas de ingeniería, producción y cliente, consolidando un método de trabajo reproducible y trazable.

5. Diseño de sistema de seguridad industrial de paletizadora de Mexico

5.1 Planteamiento del problema paletizadora de Mexico e identificación de riesgos

La zona de paletizado de Culiacán cuenta con varios robots, entre ellos el robot pallet (Fig. 6), que opera en dos niveles: en el segundo piso arma las estibas y posteriormente las transfiere al primero. Adicionalmente, se encuentran dos robots encartonadores (Fig. 7), encargados de colocar cartones entre cada capa de cajas de botellas apiladas en el pallet, y un robot magazzino (Fig. 8),

ubicado en el primer piso, cuya función es acumular las estibas que son alimentadas mediante la banda transportadora por un montacargas.



Fig. 6 Robot paletizador de Mexico



Fig. 7 Robot Encartonador



Fig. 8 Robot Magazine

Aunque esta zona dispone de mallas metálicas que conforman un cerramiento, el resguardo se encuentra incompleto (Fig. 9), lo que genera múltiples accesos no controlados al interior. Una vez dentro, el operario se expone a diversas partes mecánicas en movimiento, sin que existan separaciones físicas entre los distintos robots, lo cual incrementa significativamente el riesgo de atrapamiento, impacto o colisión.



Fig. 9 Punto de acceso no monitoreado

Los accesos existentes a través de puertas no están debidamente monitoreados. Aunque se identificaron sensores como el SICK L27S y el Leuze PRK, estos dispositivos no alcanzan la categoría de seguridad requerida por ISO 13849-1 para garantizar un nivel de rendimiento (PL) adecuado. Esto significa que un fallo simple en dichos sensores podría no ser detectado, manteniendo la máquina en operación y exponiendo al trabajador a un riesgo alto. En términos

prácticos, la baja redundancia y la limitada capacidad diagnóstica de estos elementos sitúan al sistema en un PL muy bajo (PL a o PL b), insuficiente para el nivel de severidad y exposición que presenta esta aplicación. También encontramos que se cuentan con cortinas SLC (Fig. 10) en el segundo piso en un acceso de una puerta, esta zona cuenta con un cerramiento sin embargo la cortina no es el elemento adecuado para monitorear la puerta debido a que hay elementos móviles en esta zona los cuales poseen inercia por lo que al ser desenergizados al momento de alguien cruzar esta cortina de luz, aún existe el riesgo de que una persona sea lesionada.



Fig. 10 Punto de Acceso monitoreado con cortina de luz

Un aspecto adicional que considerar es que tanto el robot paletizador como los robots encartonadores tienen energía potencial gravitacional. En caso de una pérdida repentina de energía eléctrica o una parada forzada, no cuentan con un sistema de frenado independiente de la alimentación que pueda detener el movimiento vertical en caída libre de los robots. Esta condición implica un riesgo crítico tanto para la integridad de los trabajadores como para la propia máquina, lo que refuerza la necesidad de diseñar un sistema de freno de seguridad que funcione sin depender de la energía eléctrica.

5.2 Modelación CAD del Entorno:

Para iniciar el proceso de diseño fue necesario analizar el entorno de la zona de trabajo. Debido a que todo el espacio es relevante para la operación de la paletizadora y sus robots auxiliares, el primer paso consistió en definir el cerramiento (Fig. 11) y el perímetro de seguridad. Esta delimitación permite dividir claramente las áreas de acceso y operación, garantizando que las personas no ingresen de manera accidental a zonas de riesgo. Al establecer los límites físicos del espacio, se crea una base sólida sobre la cual se organizan los elementos de protección, los dispositivos de seguridad y la disposición general del sistema. Este entorno es hecho en base a las medidas tomadas en planta como se observa en la Fig. 12. A continuación, se presentan algunas imágenes de cómo va formándose el entorno:

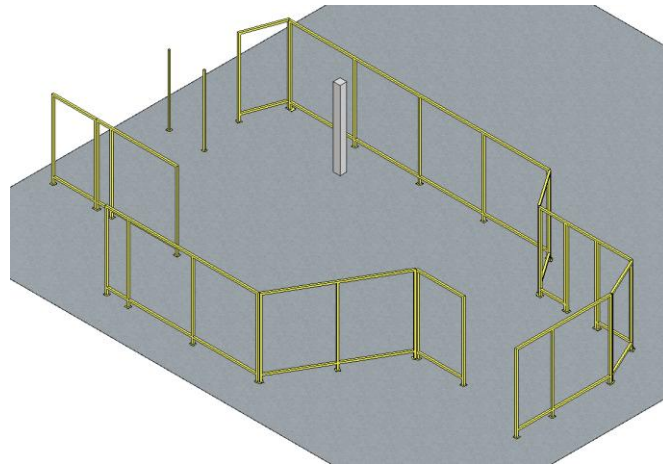


Fig. 11 Modelación de entorno cerramiento zona de paletizado



Fig. 12 Ejemplo de toma de información en campo, Medición de malla

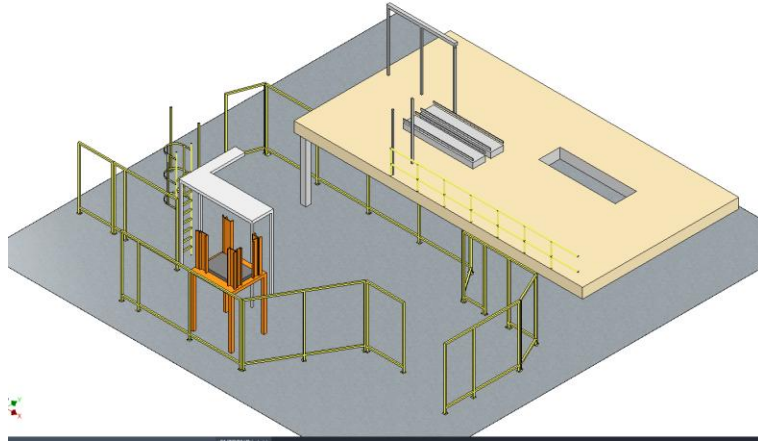


Fig. 13 Modelación de entorno segundo piso

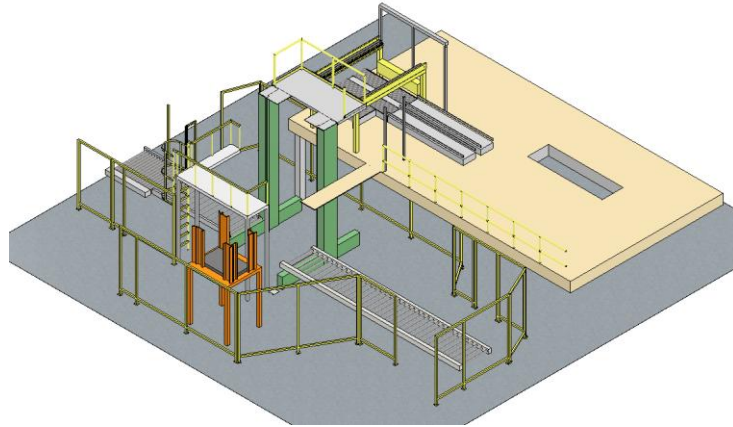


Fig. 14 Modelación de entorno estructura de robot pallet

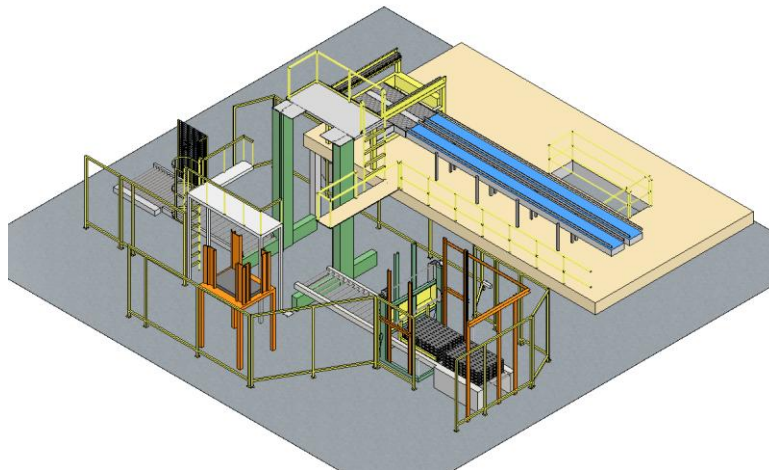


Fig. 15 robot magazine

Hasta la Fig. 15 se realizó el entorno en un mismo archivo ipt, para el modelado de las mallas y partes móviles se crea para cada uno su propio archivo y luego se hace un ensamblaje de

entorno la Fig. 16 muestra el entorno finalizado. En la Fig. 17 se muestra la malla creada como una iPart la cual permite crear diferentes tamaños de malla basados en la parametrización de forma que Inventor guarda la información de cada malla en una tabla.

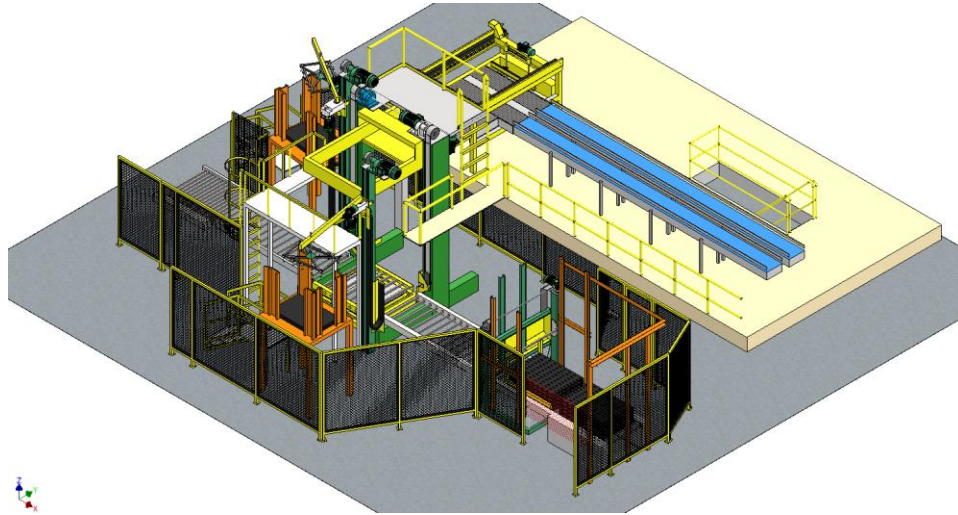


Fig. 16 Entorno completo vista ortogonal

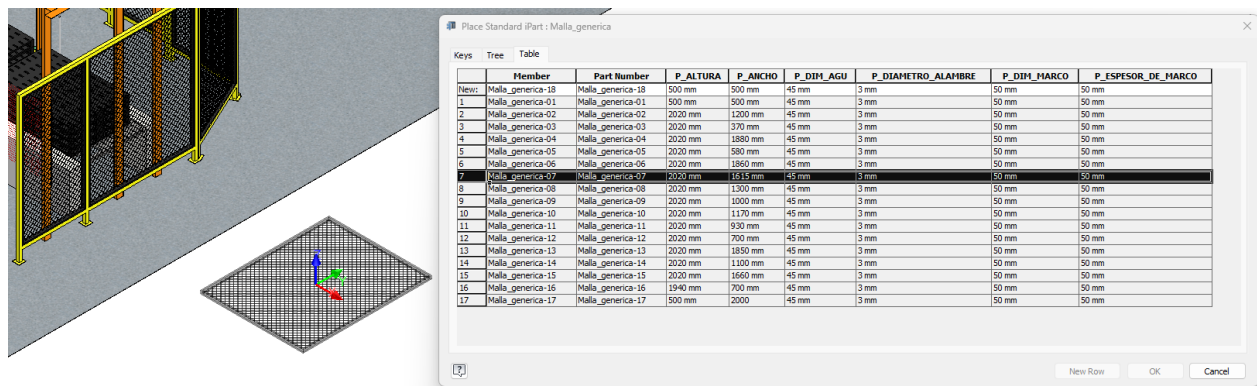


Fig. 17 Malla creada como iPart

5.3 Conceptos propuestos para reducir los riesgos asociados a la paletizadora de Mexico

Debido a que se cuenta con múltiples robots lo que permite que se detenga 1 solo mientras el resto continua en operación se propone separar la zona por secciones de máquinas, permitiendo que cada sección tenga su propio monitoreo individual. En la Fig. 18 se muestra la separación de zonas propuestas, en rojo se muestra donde irían cerramientos físicos mientras que en amarillo se indican cortinas que permitan aun un fácil acceso asegurando que la maquina correspondiente sea detenida.

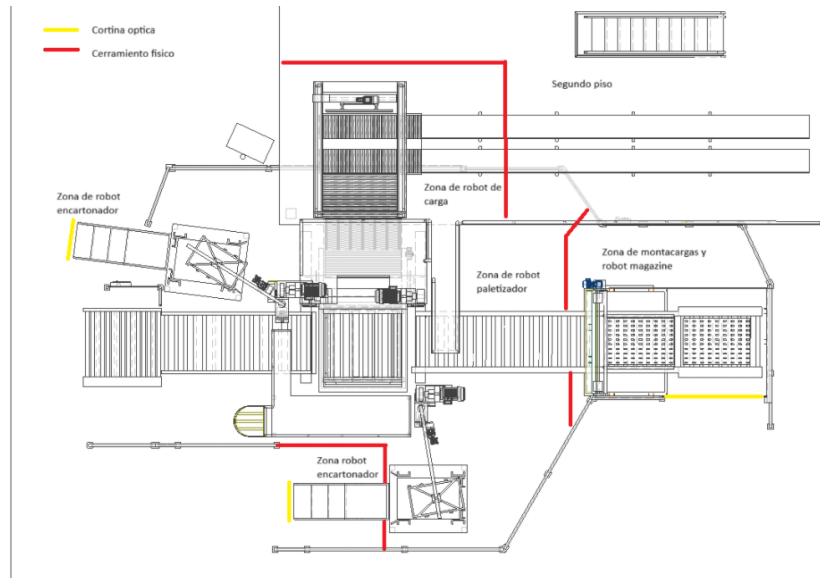


Fig. 18 División en zonas del paletizador

Para el acceso frontal en el que hay un robot encartonador se propone cerramiento físico con puerta monitoreada por una llave AZM300 con antipánico de acuerdo con normas ISO 13849-1 (Fig. 19) y botonera con función de rearme, abre puerta y emergencia.

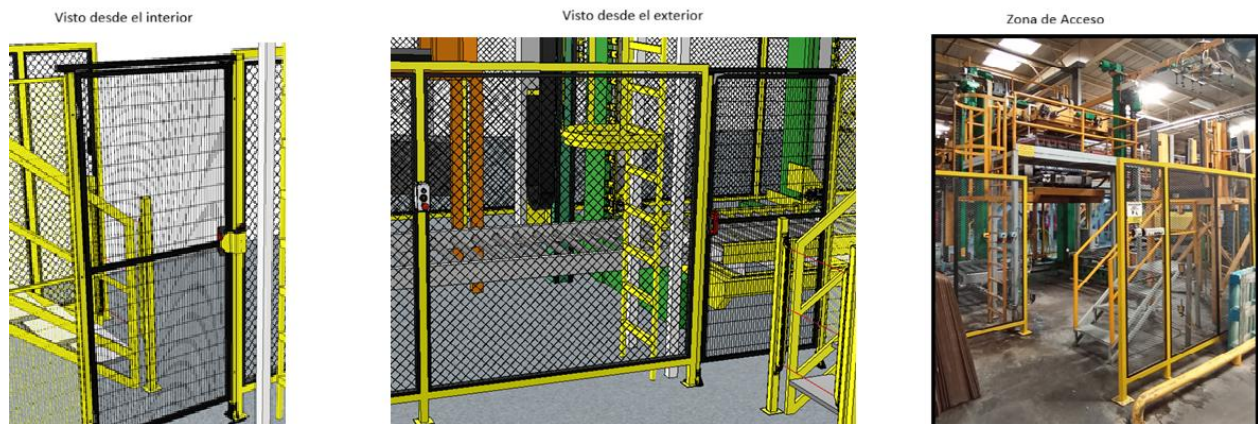


Fig. 19 Propuesta Acceso 1

Para el robot encartonador se requiere de un acceso más seguro por lo que se opta por poner una rejilla óptica para deshabilitar al robot cuando un operario va a poner el cartón que utiliza el robot (Fig. 20 y Fig. 21).



Fig. 20 Propuesta para a las escaleras del robot encartonador 1



Fig. 21 Propuesta para a las escaleras del robot encartonador 2

Se propone la Instalación de cortina de luz de acuerdo con EN 619, ISO 13855 e ISO 13849-1 y un sistema de identificación de montacarga por medio de un sensor ultrasónico, para realizar el rearme automático de la cortina (Fig. 22). Este acceso detiene solamente el almacén de pallets



Fig. 22 Propuesta para el acceso del montacargas

Se propone la separación del magazine del montacargas utilizando mallas Fig. 23, esta zona ya cuenta con una puerta para que se pueda dar acceso al robot magazine, por lo que se propone monitorear esta entrada con una llave AZM300 con antipánico de acuerdo con normas ISO 13849-1 Fig. 24.



Fig. 23 Separación del magazine



Fig. 24 Acceso al magazine

Se propone instalar un sistema de cortina y sensores fotoeléctricos a la salida del robot paletizador ya que este es un potencial punto de acceso no monitoreado el cual debe permitir la salida de los palets, para esto se propone configurar el sistema de forma que se deban interrumpir los sensores en un orden secuencial y con intervalos de tiempo precisos que permitan diferenciar si lo que está atravesándolo es una persona o un palet, y en qué dirección lo está atravesando (Fig. 25 y Fig. 26)



Fig. 25 Propuesta a la salida del paletizador

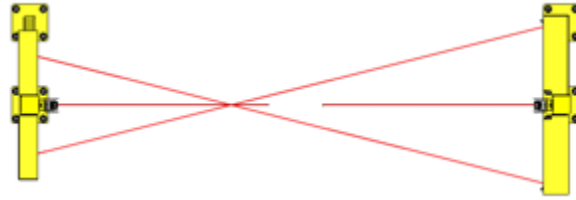


Fig. 26 Sistema Muting

Se propone implementar un sistema **LOTO (Lockout-Tagout)** en las escaleras tipo jaula presentes en el cerramiento, con el fin de garantizar que el acceso a zonas elevadas sea supervisado por personal autorizado.



Fig. 27 LOTO en escaleras tipo jaula

Debido a que el cerramiento del segundo piso se encuentra deteriorado se propone un nuevo cerramiento Fig. 29 con nueva puerta deslizante monitoreada por llave AZM300 Fig. 28.

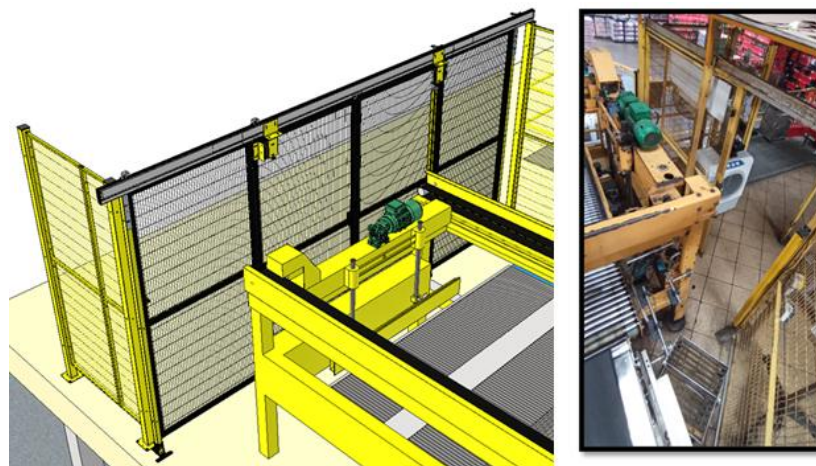


Fig. 28 Puerta deslizante nueva con llave AZM300 con antipánico

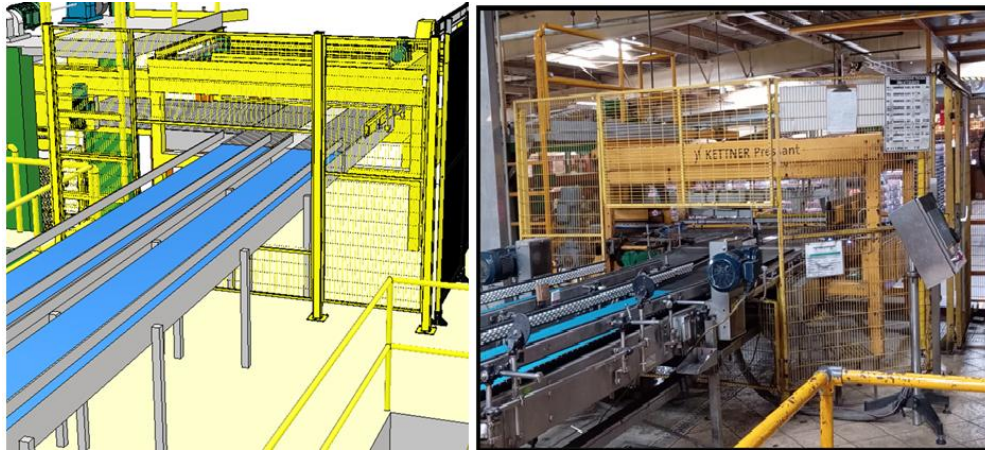


Fig. 29 Cerramiento nuevo

Para los robots que cuentan con energía potencial gravitacional se propone instalar sistema anticaída con cremallera y pistón con retorno por resorte (Fig. 30, Fig. 31, Fig. 32), se debe monitorear el accionamiento del pistón para identificar que se ha accionado y garantizar la funcionalidad del sistema. Este sistema se activa automáticamente al ingresar al área monitoreada por dispositivos de seguridad (llaves y cortinas).

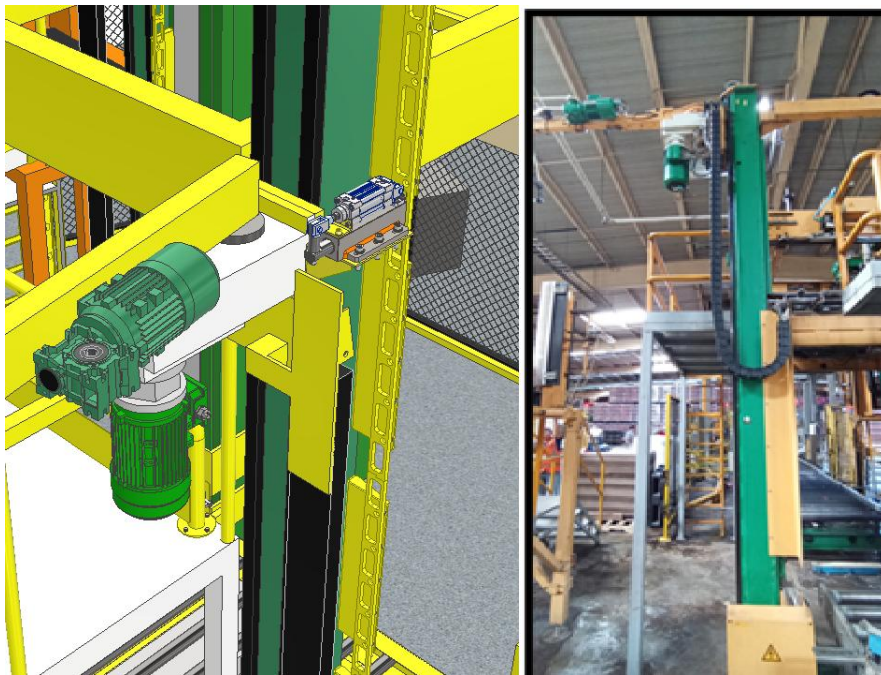


Fig. 30 Propuesta de sistema anticaídas robot encartonador 1

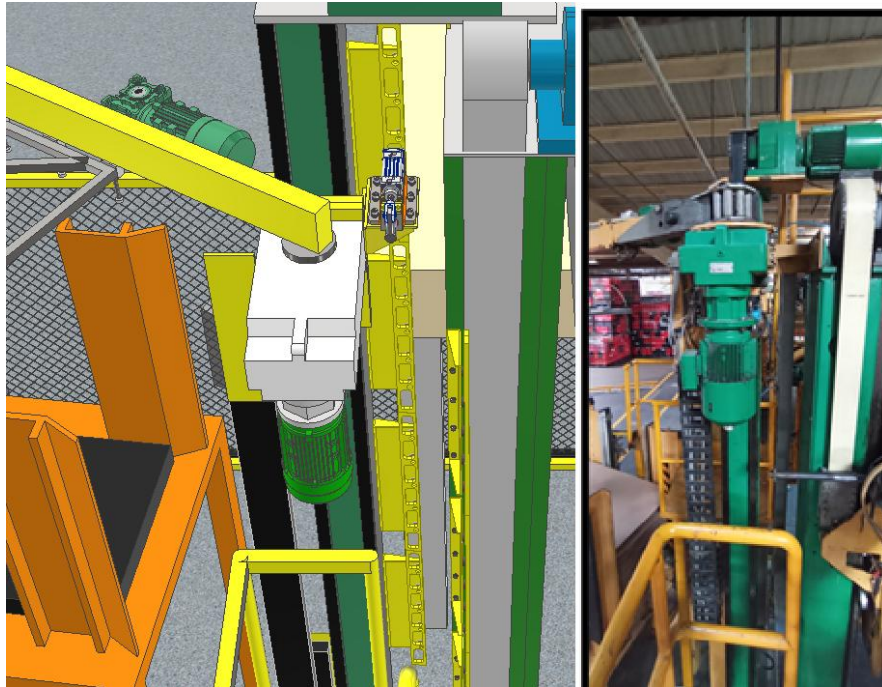


Fig. 31 Propuesta de anticaidas robot encartonador 2

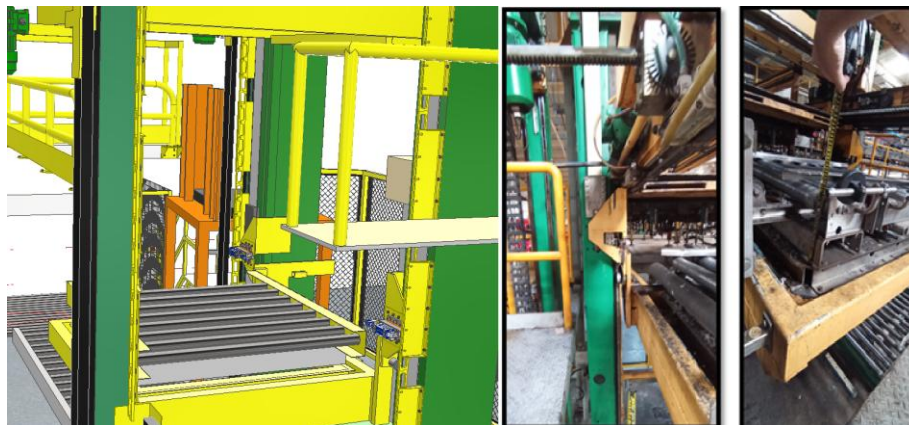


Fig. 32 Propuesta de sistema anticaidas robot paletizador

5.4 Diseño de detalle

5.4.1 Detalle Mecánico.

Para el cerramiento y puertas de acceso se seleccionó la serie ImpactGuard de Satech como cerramiento de seguridad óptimo por su alta robustez, certificaciones internacionales y prestaciones superiores que se adaptan muy bien a entornos industriales exigentes como el de paletizado.

ImpactGuard está diseñado conforme a la norma EN ISO 14120, cumpliendo los requisitos de seguridad derivados de los análisis de riesgo. Además, los paneles con bastidor de 20 o 30 mm y malla de alambre de 3 mm, con apertura de rejilla de 17×97 mm, permiten instalar los resguardos a solo 120 mm del peligro, de acuerdo con EN ISO 13857, lo que ahorra espacio sin comprometer la protección física. También soportan impactos internos de hasta 2200 J (y hasta 2600 J en versiones con bastidor de 30 mm), lo que garantiza que en caso de choque accidental el cerramiento mantenga la integridad estructural necesaria para proteger al personal. Finalmente, su compatibilidad con postes “Mix & Match” de 40 o 60 mm, la base regulable con tres puntos de anclaje, y la variedad de accesorios y puertas modulares hacen que ImpactGuard tenga versatilidad para adaptarse a distintos tamaños, accesos de mantenimiento y necesidades operativas [11].

Para el sistema anticaídas se seleccionó un cilindro neumático FESTO DSNU-40-30-P-A, perteneciente a la gama de cilindros normalizados conforme a la norma ISO 6432. Este modelo fue elegido por su fiabilidad, tamaño compacto y facilidad de integración con los componentes neumáticos del sistema. El cilindro cuenta con un diámetro de 40 mm y una carrera de 30 mm, proporcionando la fuerza y el recorrido necesarios para accionar el mecanismo de retención con precisión. Su diseño incorpora amortiguación neumática ajustable, lo que permite reducir el impacto en los extremos de carrera y aumentar la vida útil del conjunto. El cuerpo de acero inoxidable y las tapas de aluminio anodizado garantizan resistencia mecánica y durabilidad incluso en entornos industriales exigentes. Además, su compatibilidad con sensores magnéticos permite una monitorización precisa del movimiento del pistón, facilitando su integración en sistemas de control automatizados.

En este diseño, el cilindro neumático no actúa directamente sobre la placa de retención, sino que transmite el movimiento mediante un eje alojado en un buje, el cual transforma el desplazamiento lineal del pistón en un movimiento de inserción o retracción controlado dentro del sistema anticaídas. En la configuración final, cuando el cilindro se encuentra extendido, el eje se mantiene retraído, permitiendo el movimiento libre del mecanismo; mientras que, al retraerse el cilindro, el eje se extiende y se introduce en la ranura de la placa de bloqueo, asegurando el frenado. Esta disposición ofrece varias ventajas respecto a un accionamiento directo del cilindro:

- Protección mecánica: el eje intermedio y el buje absorben cargas laterales o impactos, evitando esfuerzos indeseados sobre el vástago del cilindro.

- Mayor durabilidad: al eliminar el contacto directo entre el vástago y la placa, se reduce el desgaste y el riesgo de desalineación.
- Mantenimiento simplificado: el conjunto permite desmontar o reemplazar el eje sin intervenir el cilindro, facilitando la inspección o lubricación.
- Seguridad reforzada: el sistema mantiene su función de bloqueo incluso ante fallos de presión, ya que el eje puede actuar como tope mecánico independiente del propio cilindro.

En conjunto, este diseño (Fig. 33) garantiza una operación más segura, robusta y duradera del sistema anticaídas, manteniendo la simplicidad del accionamiento neumático con un nivel superior de confiabilidad estructural.

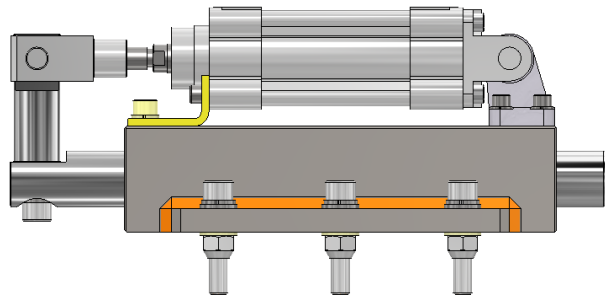


Fig. 33 Sistema anticaídas, pistón-eje-buje

5.4.2 Descripción del funcionamiento del sistema de seguridad

El funcionamiento del sistema de seguridad se basa en tres etapas principales. En primer lugar, la actuación de los dispositivos de seguridad provoca la desenergización (o “corte”) de los elementos de potencia (Tabla 1) y controladores asociados a su grupo de seguridad correspondiente, deteniendo así cualquier movimiento o condición peligrosa. Posteriormente, en la etapa de reconocimiento, es necesario eliminar la condición insegura y restablecer el estado de monitoreo del dispositivo de seguridad; una vez verificada la restauración de la condición segura, el operador puede presionar el botón de rearme. Finalmente, en la fase de nuevo comando de inicio, con la seguridad restablecida, se permite emitir nuevamente el comando de arranque del sistema.

Tabla 5
Motores a intervenir en paletizadora de Mexico

Ítem	Motor y descripción
01	MOTOR 110M1 3.6A, 0.75kW – CINTA REPARTIDA 1 – VARIADOR DANFOSS VLT 5003 NO STO + FRENO
02	MOTOR 110M3 3.6A, 0.75kW – CINTA REPARTIDA 2 – VARIADOR DANFOSS VLT 5003 NO STO + FRENO
03	MOTOR 120M1 2.2A, 0.37kW – TRANSPORTE DE FILAS – VARIADOR DANFOSS VLT 5003 STO
04	MOTOR 128M2 2.8A, 0.37kW – TOPE DE EMBALAJE – ARRANQUE DIRECTO + FRENO (128Q1)
05	MOTOR 130M1 2.2A, 0.37kW – GUÍA PLANTA D. AGRUPAM. – ARRANQUE DIRECTO + FRENO (130Q1)
06	MOTOR 135M1 5.5A, 1.5kW – EMPUJADOR DE FILAS – VARIADOR DANFOSS VLT 5003 NO STO + FRENO
07	MOTOR 140M1 3.1A, 0.55kW – ACCIONAM. VERTICAL EMPUJAD. D. FILAS – ARRANQUE DIRECTO + FRENO (140Q1)
08	MOTOR 146M1 6.1A, 1.3kW – CARRO CARGADO + ARRANQUE DIRECTO + FRENO (146Q1)
09	MOTOR 157M1 20A, 5.5kW – CONJUNTO ELEVADOR – VARIADOR DANFOSS VLT 5001
10	MOTOR 166M1 3.7A, 0.88kW – EMPUJADOR DE CAPAS – ARRANQUE DIRECTO (166Q1)
11	MOTOR 176M1 2.2A, 0.37kW – ALTERAC. D. GUÍA IZQ. – ARRANQUE DIRECTO + FRENO (176Q1)
12	MOTOR 178M1 2.2A, 0.37kW – ALTERAC. D. GUÍA DERECHA – ARRANQUE DIRECTO + FRENO (178Q1)
13	MOTOR 180M1 2.2A, 0.37kW – ALTERAC. D. GUÍA ATRAS – ARRANQUE DIRECTO + FRENO (180Q1)
14	MOTOR 187M1 6.5A, 1.5kW – COLOCAD. DE TAPAS 1 CONJ. ELEV. – VARIADOR DANFOSS VLT 5003 NO STO + FRENO
15	MOTOR 190M1 6.5A, 1.5kW – COLOCAD. D. TAPAS 1 ACCIONA GUIA – VARIADOR DANFOSS VLT 5003 NO STO + FRENO
16	MOTOR 197M1 1.26A, 1.15kW – GIRO MARCO ASPIR. 1 – VARIADOR DANFOSS VLT 5003 NO STO + FRENO
17	MOTOR 207M5 7.35A, 0.55kW / 2.5A, 0.37kW – TRANSP. RECOGIDA MAQ. – VARIADOR DANFOSS VLT 5003 NO STO + FRENO

18	MOTOR 217M1 6.5A, 1.5kW – COLOCAD. D. TAPAS 2 CONJ. ELEV. – VARIADOR DANFOSS VLT 5003 NO STO + FRENO
19	MOTOR 220M1 6.5A, 1.5kW – COLOCAD. D. TAPAS 2 ACCIONA GUIA – VARIADOR DANFOSS VLT 5003 NO STO + FRENO
20	MOTOR 227M1 1.26A, 1.15kW – GIRO MARCO ASPIR. 2 – VARIADOR DANFOSS VLT 5003 NO STO + FRENO

El sistema anticaída está conformado por un cilindro neumático FESTO DSNU-40-30-P-A, acoplado a un eje montado en un buje que actúa como elemento de bloqueo. En condiciones normales de operación, la electroválvula monoestable mantiene el cilindro extendido, lo que mantiene el eje retraído y permite el movimiento libre del mecanismo. Cuando la electroválvula se desenergiza —ya sea por una parada de emergencia, una falla eléctrica o pérdida de presión— el resorte interno de la electroválvula devuelve el sistema a su posición de reposo, provocando la retracción del cilindro. En esta condición, el eje se extiende y se introduce en la ranura de la placa de retención, bloqueando el movimiento del conjunto y evitando la caída de la estructura. Este funcionamiento asegura que el sistema actúe automáticamente en caso de fallo energético, garantizando una detención segura del mecanismo y la protección tanto del equipo como del personal.

Tabla 6
Electrovalvulas del sistema anticaídas

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Electro válvula para el anticaídas del paletizador
2	Electro válvula para el anticaídas del encartonador 1
3	Electro válvula para el anticaídas del encartonador 2

6. Resultados diseño de seguridad de paletizadora de Mexico.

El cliente manifestó su satisfacción con las soluciones propuestas durante el diseño del sistema de seguridad, ya que estas lograron cubrir los requerimientos de protección y funcionalidad del área de paletizado. A partir de la aprobación del diseño, se procedió a la elaboración de los planos detallados para fabricación y montaje, así como a la documentación técnica correspondiente,

asegurando que el proyecto quedara listo para su implementación en planta. En la Fig. 34 Se muestra el layout (Fig. 34) de los dispositivos de seguridad propuestos a instalar, como lo son las llaves AZM300 y cortinas SGL400COM que son dispositivos usados para el monitoreo de los accesos, se añade un sensor ultrasonido para diferenciar la entrada de montacargas o una persona en el acceso para el montacargas. La llave AZM300 previene que la puerta pueda ser abierta sin que la maquinaria haya sido detenida previamente, y adicionalmente este cuenta con rfid permitiendo también identificar si la llave y el actuador no se encuentran en la posición correcta para evitar que la maquinaria sea puesta en funcionamiento con el acceso abierto. La cortina por su parte detendrá la maquina si una persona las atraviesa, haciendo necesario que la maquina sea puesta de nuevo en funcionamiento una vez se verifique que la persona ha salido de la zona de peligro, el control de la maquinas en ambos casos se hará por medio de botoneras de paro y rearme, es decir si una persona ingresa en las zonas de peligro, esta al salir debe presionar el botón de rearme para que el sistema verifique sus condiciones de funcionamiento y permita que posteriormente se presione de nuevo un botón de inicio para el arranque de la máquina.

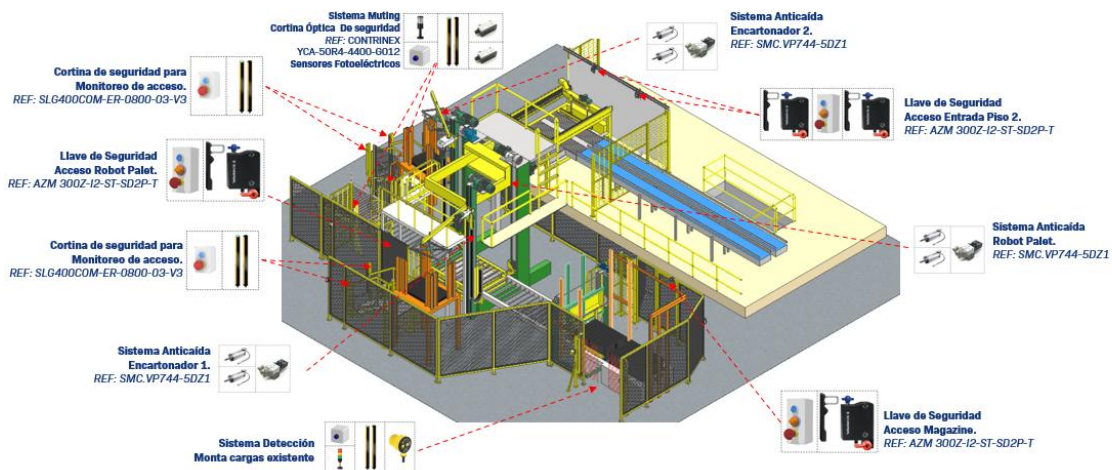


Fig. 34 Layout de paletizadora con los dispositivos de seguridad propuestos

Para la implementación del control de seguridad se utilizó un PLC de seguridad Schmersal Protect PSC1, encargado de centralizar la gestión de todos los dispositivos de protección del sistema. Este controlador permite el monitoreo continuo de señales provenientes de los enclavamientos, cortinas ópticas, botones de paro de emergencia y sensores de posición, garantizando una respuesta inmediata ante cualquier condición de riesgo. Además, su arquitectura modular y capacidad de programación flexible facilitan la integración con los distintos subsistemas

de la paletizadora L3, asegurando un funcionamiento coordinado y cumpliendo con los estándares de seguridad funcional aplicables (Fig. 34).

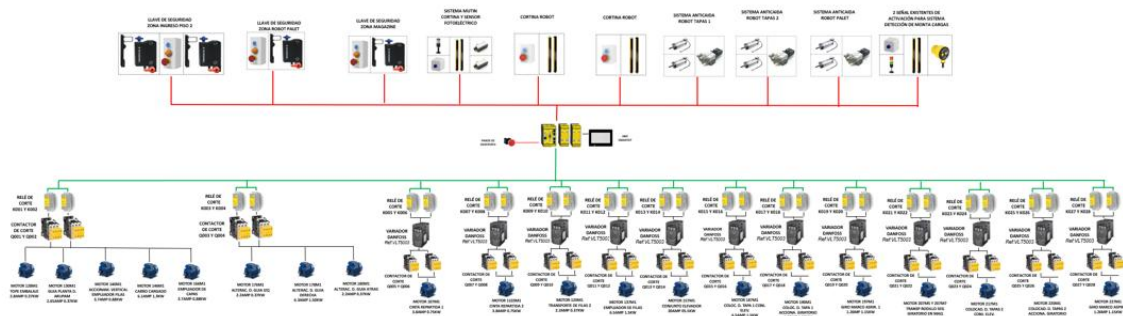


Fig. 35 Control del sistema de seguridad

Se desarrolló un conjunto de planos técnicos que documentan de manera completa el sistema diseñado. El plano principal (Fig. 36) tiene un carácter locacional, ya que presenta la disposición general de los subconjuntos y su ubicación dentro de la zona del pallet, facilitando la comprensión de cómo se integran los diferentes ensamblajes en el entorno de trabajo. A partir de este dibujo general se generaron los planos individuales de cada ensamblaje, los cuales detallan la estructura, los componentes y las referencias necesarias para su montaje (Fig. 37). Además, se elaboraron los planos de las piezas fabricadas (Fig. 38). En conjunto, esta documentación técnica permite una visualización clara de la jerarquía del diseño y asegura la coherencia entre las etapas de modelado, fabricación y ensamblaje.

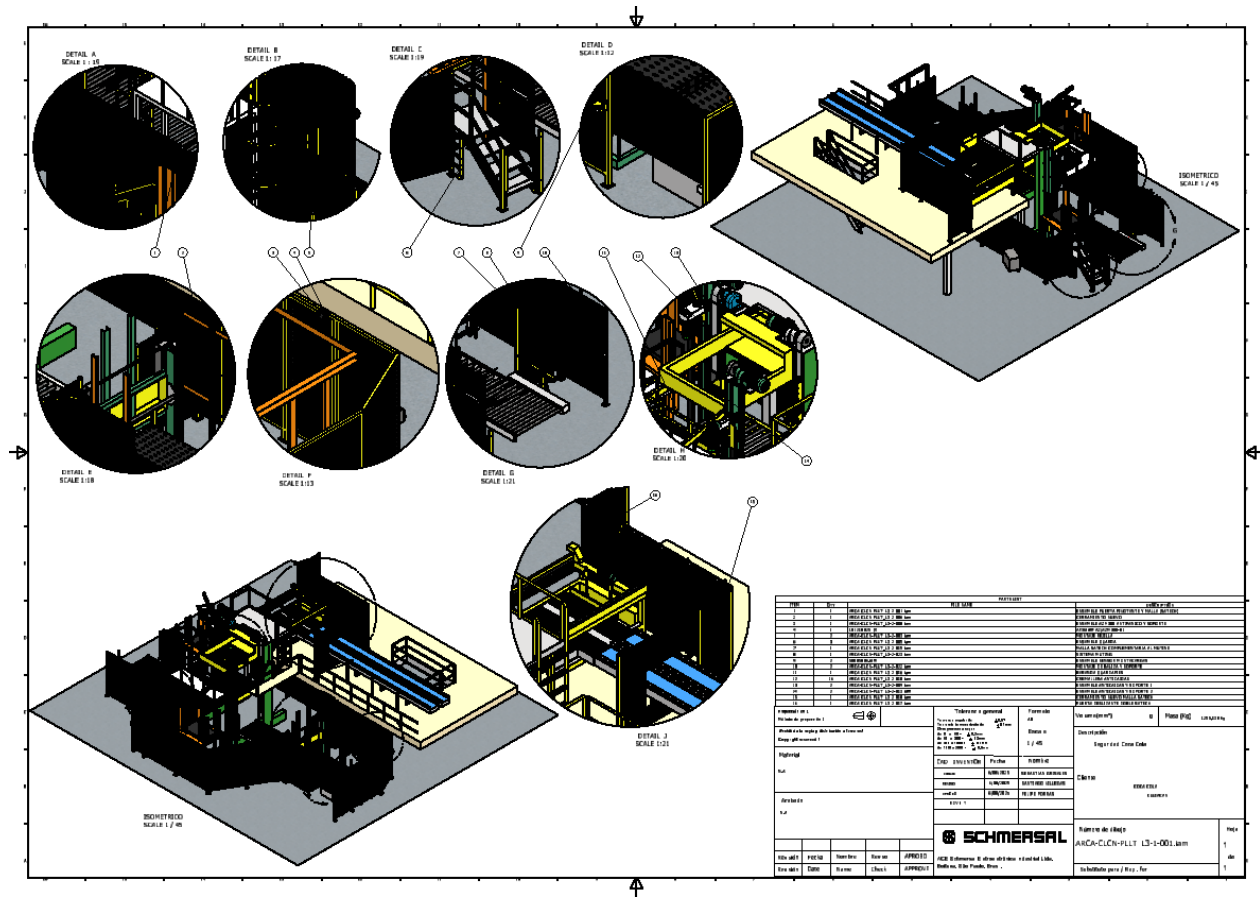


Fig. 36 Plano de ubicación de las propuestas mecánicas para mejorar la seguridad y reducir los riesgos asociados a la operación del paletizador

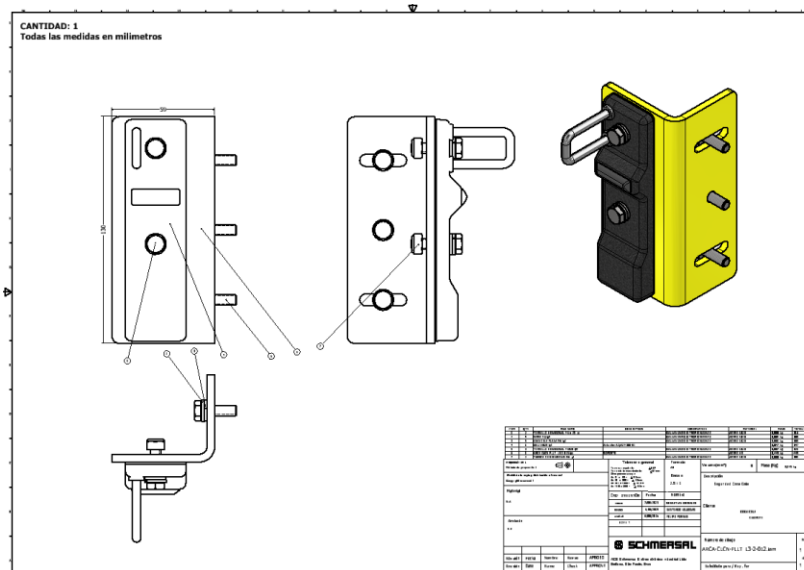


Fig. 37 Ejemplo plano de montaje de actuador AZM300

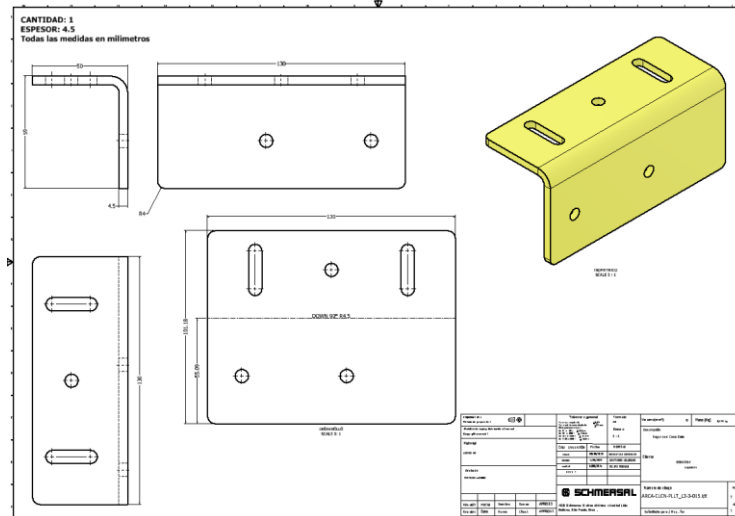


Fig. 38 Lamina a fabricar en corte laser que será soporte de actuador AZM300

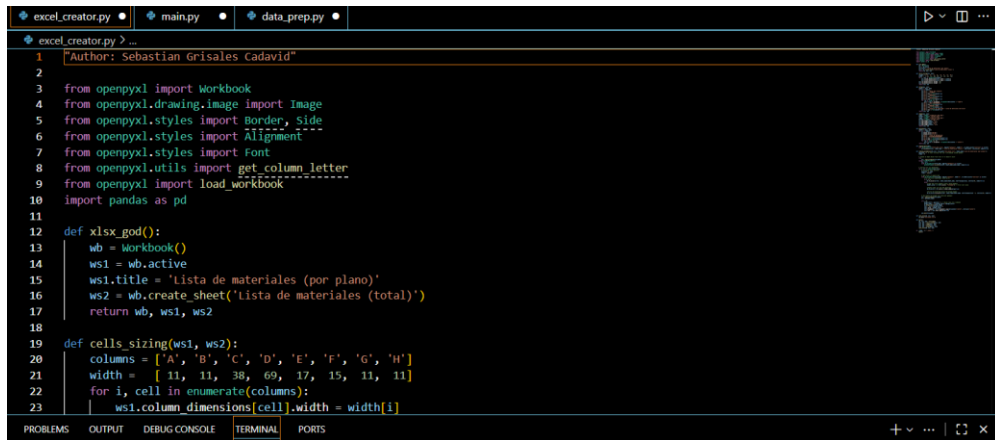
Durante el desarrollo de este proyecto, se elaboró un script en Python con el propósito de automatizar la organización de la información obtenida del listado de materiales (BOM, *Bill of Materials*) exportado desde Autodesk Inventor. El código (Fig. 39 Fig. 40 Fig. 41) hace uso de las bibliotecas pandas y openpyxl para procesar los datos y generar un archivo de Excel estructurado en dos hojas. La primera hoja presenta la relación de piezas correspondientes a cada ensamblaje, permitiendo identificar de manera clara los componentes asociados a cada subsistema. La segunda hoja consolida la información total, mostrando el número global de piezas requeridas para el proyecto completo. Este proceso automatizado reduce significativamente el tiempo de procesamiento, evita errores asociados a la manipulación manual de datos y mejora la trazabilidad y organización de la información técnica (Fig. 42,...,Fig. 48).

```

data_creator.py • main.py • data_prep.py
data_prep.py > ...
1 "Author: Sebastian Grisales Cadavid"
2
3 import pandas as pd
4 import numpy as np
5
6 def data_path():
7     '''data_path gets the path of the workplace'''
8     input_path = input("Enter the path to your excel files: ")
9     parts_path = f"{input_path}\\part_list.xlsx"
10    assembly_path = f"{input_path}\\assembly_list.xlsx"
11    df_part_list = pd.read_excel(parts_path)
12    df_assem_list = pd.read_excel(assembly_path)
13    return df_part_list, df_assem_list, input_path
14
15 def column_check(df_parts, df_assem):
16     '''Verification of the required columns'''
17     watch_list = ["Item", "QTY", "Filename", "Description", "Comments", "Subject", "Mass"]
18     df_parts = df_parts[watch_list]
19     df_assem = df_assem[watch_list]
20     return df_parts, df_assem
21
22 def sorting_parts(df_parts):
23     '''FUNCTION USED TO DROP ELEMENTS

```

Fig. 39 Muestra del código para organizar dataframes con información de la lista de materiales y ensambles

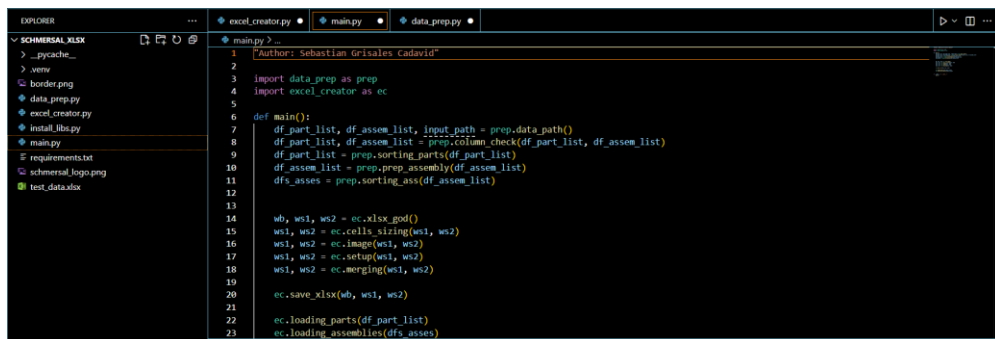


```

1  "Author: Sebastian Grisales Cadavid"
2
3  from openpyxl import Workbook
4  from openpyxl.drawing.image import Image
5  from openpyxl.styles import Border, Side
6  from openpyxl.styles import Alignment
7  from openpyxl.styles import Font
8  from openpyxl.utils import get_column_letter
9  from openpyxl import load_workbook
10 import pandas as pd
11
12 def xlsx_god():
13     wb = Workbook()
14     ws1 = wb.active
15     ws1.title = 'Lista de materiales (por plano)'
16     ws2 = wb.create_sheet('Lista de materiales (total)')
17     return wb, ws1, ws2
18
19 def cells_sizing(ws1, ws2):
20     columns = ['A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'H']
21     width = [11, 11, 38, 69, 17, 15, 11, 11]
22     for i, cell in enumerate(columns):
23         ws1.column_dimensions[cell].width = width[i]

```

Fig. 40 Muestra del código para la creación y organización del reporte de excel con la lista de materiales y ensamblajes



```

1  "Author: Sebastian Grisales Cadavid"
2
3  import data_prep as prep
4  import excel_creator as ec
5
6  def main():
7      df_part_list, df_assem_list = prep.data_path()
8      df_part_list, df_assem_list = prep.column_check(df_part_list, df_assem_list)
9      df_part_list = prep.sorting_parts(df_part_list)
10     df_assem_list = prep.prep_assembly(df_assem_list)
11     dfs_assem = prep.sorting_assem(df_assem_list)
12
13
14     wb, ws1, ws2 = ec.xlsx_god()
15     ws1, ws2 = ec.cells_sizing(ws1, ws2)
16     ws1, ws2 = ec.image(ws1, ws2)
17     ws1, ws2 = ec.setup(ws1, ws2)
18     ws1, ws2 = ec.merging(ws1, ws2)
19
20     ec.save_xlsx(wb, ws1, ws2)
21
22     ec.loading_parts(df_part_list)
23     ec.loading_assemblies(dfs_assem)

```

Fig. 41 código de ejecución de los módulos de manejo de dataframes y creación del reporte en excel

A		B		C		D		E		F		G	
SCHMERSAL		ACE											
Datos del proyecto				CUENTE: ARCA CONTINENTAL PROYECTO: Paletizadora L3, Culiacan DESCRIPCIÓN: Proyecto de seguridad - lista de materiales mecánicos									
LISTA DE MATERIALES													
ARCA-CLCN-PLLT_L3-1-001.iam													
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass							
9	1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-006.iam	MALLA CERRAMIENTO MAGAZINE	ENSAMBLE	N.A	67,336 kg							
10	2	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-008.iam	ENSAMBLE LLAVE AZM300 CON ANTIPANICO Y SOPORTE	ENSAMBLE	N.A	0,813 kg							
11	3	101218025.ipt	Actuador AZ/AZM300-B1	SCHMERSAL	N.A	0,047 kg							
12	4	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-003.iam		ENSAMBLE	N.A	21,515 kg							
13	5	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-005.iam	GUARDA COMPLEMENTO EN ESCALERAS	ENSAMBLE	N.A	6,310 kg							
14	6	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-015.iam	MALLA COMPLEMENTO DEL MUTING	ENSAMBLE	N.A	25,327 kg							
15	7	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-023.iam	SISTEMA MUTING	SCHMERSAL	N.A	19,022 kg							
16	8	50005806.iam	ULTRASONIDO PARA EL MONTACARGAS	SCHMERSAL	N.A	0,848 kg							
17	9	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-022.iam	ENSAMBLAJE DE BALIZA Y SOPORTE	ENSAMBLE	N.A	0,805 kg							
18	10	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-016.iam	GUARDAPIES	ENSAMBLE	N.A	40,049 kg							
19	11	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-009.iam	PISTON ANTICAIDAS PARA ROBOT ENCARTONADOR	ENSAMBLE	N.A	10,880 kg							
20	12	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-013.iam	ANTICAIDAS PARA ROBOT PALLET	ENSAMBLE	N.A	9,156 kg							
21	13	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-018.iam	CERRAMIENTO NUEVO SEGUNDO PISO	ENSAMBLE	N.A	39,259 kg							
22	14	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-017.iam	PUERTA DESLIZANTE Y MALLA NUEVA SEGUNDO PISO	ENSAMBLE	N.A	43,160 kg							
23	15	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-010.iam	CREMALLERA ANTICAIDAS	ENSAMBLE	N.A	2,475 kg							
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-001.iam													
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass							
25	1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-006.iam	MALLA CERRAMIENTO MAGAZINE	ENSAMBLE	N.A	67,336 kg							
26	2	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-008.iam	ENSAMBLE LLAVE AZM300 CON ANTIPANICO Y SOPORTE	ENSAMBLE	N.A	0,813 kg							
27	3	101218025.ipt	Actuador AZ/AZM300-B1	SCHMERSAL	N.A	0,047 kg							
28	4	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-003.iam		ENSAMBLE	N.A	21,515 kg							
29	5	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-005.iam	GUARDA COMPLEMENTO EN ESCALERAS	ENSAMBLE	N.A	6,310 kg							
30	6	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-015.iam	MALLA COMPLEMENTO DEL MUTING	ENSAMBLE	N.A	25,327 kg							
31	7	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-023.iam	SISTEMA MUTING	SCHMERSAL	N.A	19,022 kg							
32	8	50005806.iam	ULTRASONIDO PARA EL MONTACARGAS	SCHMERSAL	N.A	0,848 kg							
33	9	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-022.iam	ENSAMBLAJE DE BALIZA Y SOPORTE	ENSAMBLE	N.A	0,805 kg							
34	10	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-016.iam	GUARDAPIES	ENSAMBLE	N.A	40,049 kg							
35	11	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-009.iam	PISTON ANTICAIDAS PARA ROBOT ENCARTONADOR	ENSAMBLE	N.A	10,880 kg							
36	12	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-013.iam	ANTICAIDAS PARA ROBOT PALLET	ENSAMBLE	N.A	9,156 kg							
37	13	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-018.iam	CERRAMIENTO NUEVO SEGUNDO PISO	ENSAMBLE	N.A	39,259 kg							
38	14	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-017.iam	PUERTA DESLIZANTE Y MALLA NUEVA SEGUNDO PISO	ENSAMBLE	N.A	43,160 kg							
39	15	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-010.iam	CREMALLERA ANTICAIDAS	ENSAMBLE	N.A	2,475 kg							

Fig. 42 Lista de partes por plano de ensamble

ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-001.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
42	1.1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-007.iam			N.A	0,737 kg
43	1.2	11117000.iam	PUERTA SATECH	SATECH	ACERO HR	3,334 kg
44	1.3	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-014.iam			N.A	0,910 kg
45	1.4	150000743.ipt	Marco 20 L=700 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	7,385 kg
46	1.5	150000741.ipt	Marco 20 L=200 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	3,645 kg
47	1.6	350000742.ipt	Marco 20 L=300 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	4,393 kg
48	1.7	41116101.iam	POSTE 60 x 60 x 2220	SATECH	ACERO HR	7,148 kg
49	1.8	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-001.iam	TORNILLOS MALLAS	SATECH	N.A	0,000 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-007.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
51	1.1.1	103006865.ipt	Llave AZM300Z-ST-1P2P-T	SCHMERSAL	N.A	0,323 kg
52	1.1.2	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-008.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,358 kg
53	1.1.3	3 TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg
54	1.1.4	5 ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
55	1.1.5	5 WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
56	1.1.6	2 TORNILLO HEXAGONAL M6x50.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,012 kg
57	1.1.7	2 TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,000 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-014.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
61	1.3.1	101218025.ipt	Actuador AZ/AZM300-B1	SCHMERSAL	N.A	0,047 kg
62	1.3.2	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-007.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,814 kg
63	1.3.3	2 TORNILLO HEXAGONAL M6 x 25.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,008 kg
64	1.3.4	5 ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
65	1.3.5	5 WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
66	1.3.6	2 TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,000 kg
67	1.3.7	3 TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-006.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
70	2.1	350000742.ipt	Marco 20 L=300 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	4,393 kg
71	2.2	250000741.ipt	Marco 20 L=200 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	3,645 kg
72	2.3	150000746.ipt	Marco 20 L=1200 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	11,125 kg
73	2.4	51116101.iam	POSTE 60 x 60 x 2220	SATECH	ACERO HR	7,148 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-008.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
76	4.1	103006865.ipt	Llave AZM300Z-ST-1P2P-T	SCHMERSAL	N.A	0,323 kg
77	4.2	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-012.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,434 kg
78	4.3	2 TORNILLO HEXAGONAL M6x50.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,012 kg
79	4.4	5 WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
80	4.5	5 ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
81	4.6	2 TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,000 kg
82	4.7	3 TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-003.iam						

Fig. 43 Lista de partes por plano de ensamble

ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-003.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
85						
86	6.1	2 ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-004.iam			N.A	7,712 kg
87	6.2	2 11931238.iam	SLG440COM-ER-0800-03-V3	SCHMERSAL	N.A	0,888 kg
88	6.3	2 70001407.ipt	SopORTE cortina 800	SCHMERSAL	ACERO HR	1,809 kg
89	6.4	4 TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg
90	6.5	4 ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
91	6.6	4 WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
92	6.7	8 Chazo1_2inx3in.iam		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,083 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-004.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
94						
95	6.1.1	1350,000 m ISO 10799-2 60x60x3 POST.ipt	Structural steels - Cold-formed, welded, structural hollow sections	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	7,003 kg
96	6.1.2	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-010.ipt		CORTE LASER	ACERO HR	0,039 kg
97	6.1.3	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-011.ipt		CORTE LASER	ACERO HR	0,670 kg
98	6.1.4	1 Chazo1_2inx3in				0,006 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-005.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
100						
101	9.1	4 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-002.ipt	GUARDA	CORTE LASER	ACERO HR	0,573 kg
102	9.2	2 ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-002.iam			N.A	1,972 kg
103	9.3	8 TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,000 kg
104	9.4	8 TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg
105	9.5	8 ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
106	9.6	8 WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-002.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
108						
109	9.2.1	2 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-003.ipt	PIE AMIGO	CORTE LASER	ACERO HR	0,082 kg
110	9.2.2	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-001.ipt	GUARDA	CORTE LASER	ACERO HR	1,808 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-015.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
111						
113	10.1	2 11116101.iam	POSTE 60 x 60 x 2220	SATECH	ACERO HR	7,148 kg
114	10.2	1 50000743.ipt	Marco 20 L=700 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	7,385 kg
115	10.3	1 50000741.ipt	Marco 20 L=200 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	3,645 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-023.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
117						
118	11.1	8 Chazo1_2inx3in.iam		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,083 kg
119	11.2	4 TORNILLO HEX M6x16 MACHUELEADO.iam		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,008 kg
120	11.3	1 50005023.iam	SopORTE sensor/reflector muting	SCHMERSAL	ACERO HR	4,114 kg
121	11.4	2 50005804.iam	SopORTE cortina	SCHMERSAL	ACERO HR	4,295 kg
122	11.5	2 70001407.ipt	SopORTE cortina 800	SCHMERSAL	ACERO HR	1,809 kg
123	11.6	2 11931238.iam	SLG440COM-ER-0800-03-V3	SCHMERSAL	N.A	0,888 kg

Fig. 44 Lista de partes por plano de ensamble

ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-022.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
124						
126	13.1	1 BALIZA_D52.ipt	BALIZA	SCHMERSAL	N.A	0,487 kg
127	13.2	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-009.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,275 kg
128	13.3	2 TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg
129	13.4	2 ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
130	13.5	2 WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
131	13.6	4 TORNILLO SOCKET M6x14.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,006 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-016.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
133						
134	15.1	636,000 mm *Varies*	DIN EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 318	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	1,132 kg
135	15.2	471,239 mm *Varies*	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 235,62	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	0,839 kg
136	15.3	2034,150 m DIN EN 10210-2 48,3 x 3,2 1750692491302	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 2034,15	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	7,154 kg
137	15.4	1124,150 m DIN EN 10210-2 48,3 x 3,2 1750692491352	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 1124,15	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	3,915 kg
138	15.5	1872,000 mm *Varies*	DIN EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 468	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	1,666 kg
139	15.6	6 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-019.ipt		CORTE LASER	ACERO HR	0,339 kg
140	15.7	2160,000 mm *Varies*	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 720	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	2,563 kg
141	15.8	550,000 mm DIN EN 10210-2 48,3 x 3,2 1750694662948	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 550	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	1,958 kg
142	15.9	700,000 mm DIN EN 10210-2 48,3 x 3,2 1750694662984	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 700	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	2,491 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-018.ipt						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
144						
145	15.11	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-017.ipt	GUARDAPIES	CORTE LASER	ACERO HR	0,525 kg
146	15.12	2 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-014.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	1,014 kg
147	15.13	4 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-013.ipt	PIE AMIGO	CORTE LASER	ACERO HR	0,114 kg
148	15.14	32 TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg
149	15.15	32 ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
150	15.16	32 WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-009.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
151						
152	17.1	1 70003396.iam	Sistema neumatico anticaida	SCHMERSAL	N.A	8,827 kg
154	17.2	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-025.iam	Soldadura lamina soporte anticaida		N.A	1,990 kg
155	17.3	3 ARANDELA PLANA M8.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,002 kg
156	17.4	3 WASA M8.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
157	17.5	3 TORNILLO HEXAGONAL M8 x 25.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,018 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-025.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
159						
160	17.2.1	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-024.ipt	LAMINA SOPORTE DEL ANTICAIDA	CORTE LASER	ACERO HR	1,678 kg
161	17.2.2	2 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-025.ipt	PIE AMIGO DEL ANTICAIDA	CORTE LASER	ACERO HR	0,156 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-013.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
163						
164	18.1	1 70003396.iam	Sistema neumatico anticaida	SCHMERSAL	N.A	8,827 kg
165	18.2	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-004.ipt	BASE	CORTE LASER	ACERO HR	0,198 kg
166	18.3	6 TORNILLO HEXAGONAL M8 x 25.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,018 kg
167	18.4	6 ARANDELA PLANA M8.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,002 kg
168	18.5	6 WASA M8.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
169	18.6	6 TUERCA DE SEGURIDAD M8.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg

Fig. 45 Lista de partes por plano de ensamble

ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-018.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
171						
172	20.1	1 1500x2080H.ipt	MALLA CORTADA	SATECH	ACERO HR	2,295 kg
173	20.2	1 50000743.ipt	Marco 20 L=700 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	7,385 kg
174	20.3	1 50000744.ipt	Marco 20 L=800 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	8,133 kg
175	20.4	3 11116101.iam	POSTE 60 x 60 x 2220	SATECH	ACERO HR	7,148 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-017.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
177	21.1	1 PDS2000X2240.iam	PUERTA DESLIZANTE	SATECH	ACERO HR	12,698 kg
179	21.2	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-019.iam		ENSAMBLE	N.A	1,572 kg
180	21.3	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-020.iam		ENSAMBLE	N.A	0,394 kg
181	21.4	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-012.iam		ENSAMBLE	N.A	0,545 kg
182	21.5	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-021.iam		ENSAMBLE	N.A	1,354 kg
183	21.7	1 50000743.ipt	Marco 20 L=700 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	7,385 kg
184	21.8	1 50000742.ipt	Marco 20 L=300 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	4,393 kg
185	21.9	2 11116101.iam	POSTE 60 x 60 x 2220	SATECH	ACERO HR	7,148 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-019.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
188	21.2.1	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-005.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,514 kg
189	21.2.2	1 103006865.ipt	Llave AZM3002-ST-1P2P-T	SCHMERSAL	N.A	0,323 kg
190	21.2.3	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-006.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,651 kg
191	21.2.4	2 TORNILLO HEXAGONAL M6x50.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,012 kg
192	21.2.5	8 WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
193	21.2.6	8 ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
194	21.2.7	5 TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,000 kg
195	21.2.8	6 TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-020.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
198	21.3.1	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-016.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,298 kg
199	21.3.2	1 101218025.ipt	Actuador AZ/AZM300-B1	SCHMERSAL	N.A	0,047 kg
200	21.3.3	3 TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg
201	21.3.4	5 ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
202	21.3.5	5 WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
203	21.3.6	2 TORNILLO HEXAGONAL M6 x 25.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,008 kg
204	21.3.7	2 TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,000 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-012.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
207	21.4.1	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-015.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,449 kg
208	21.4.2	1 101218025.ipt	Actuador AZ/AZM300-B1	SCHMERSAL	N.A	0,047 kg
209	21.4.3	2 TORNILLO HEXAGONAL M6 x 25.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,008 kg
210	21.4.4	5 ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
211	21.4.5	5 WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
212	21.4.6	2 TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,000 kg
213	21.4.7	3 TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg

Fig. 46 Lista de partes por plano de ensamble

ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-021.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
215	21.5.1	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-005.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,514 kg
217	21.5.2	1 103006865.ipt	Llave AZM3002-ST-1P2P-T	SCHMERSAL	N.A	0,323 kg
218	21.5.3	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-006.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,651 kg
219	21.5.4	2 TORNILLO HEXAGONAL M6x50.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,012 kg
220	21.5.5	6 WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
221	21.5.6	6 ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
222	21.5.7	4 TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,000 kg
223	21.5.8	4 TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-010.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
226	31.1	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-023.ipt	CREMALLERA	SCHMERSAL	ACERO HR	1,925 kg
227	31.2	5 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-022.ipt	SEPARADOR CREMALLERA	SCHMERSAL	ACERO HR	0,006 kg
228	31.3	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-011.iam		N.A	N.A	0,425 kg
229	31.4	5 TORNILLO HEXAGONAL M8x25.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,016 kg
230	31.5	5 ARANDELA PLANA M8.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,002 kg
231	31.6	5 WASA M8.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-011.iam						
Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
234	31.3.1	1 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-021.ipt	SOPORTE CREMALLERA	CORTE LASER	ACERO HR	0,408 kg
235	31.3.2	2 ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-020.ipt	PIE AMIGO	CORTE LASER	ACERO HR	0,009 kg
236						
237						
238						
239						

Fig. 47 Lista de partes por plano de ensamble

Item	QTY	Filename	Description	Comments	Subject	Mass
1	6	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-001.ipt	GUARDA	CORTE LASER	ACERO HR	1,808 kg
2	12	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-002.ipt	GUARDA	CORTE LASER	ACERO HR	0,573 kg
3	12	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-003.ipt	PIE AMIGO	CORTE LASER	ACERO HR	0,082 kg
4	2	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-004.ipt	BASE	CORTE LASER	ACERO HR	0,198 kg
5	2	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-005.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,514 kg
6	2	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-006.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,651 kg
7	1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-007.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,814 kg
8	1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-008.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,358 kg
9	2	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-009.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,275 kg
10	4	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-010.ipt		CORTE LASER	ACERO HR	0,039 kg
11	4	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-011.ipt		CORTE LASER	ACERO HR	0,670 kg
12	1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-012.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,434 kg
13	4	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-013.ipt	PIE AMIGO	CORTE LASER	ACERO HR	0,114 kg
14	2	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-014.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	1,014 kg
15	1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-015.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,449 kg
16	1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-016.ipt	SOPORTE	CORTE LASER	ACERO HR	0,298 kg
17	1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-017.ipt	GUARDAPIES	CORTE LASER	ACERO HR	0,525 kg
18	1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-018.ipt	GUARDAPIES	CORTE LASER	ACERO HR	0,907 kg
19	6	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-019.ipt		CORTE LASER	ACERO HR	0,339 kg
20	32	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-020.ipt	PIE AMIGO	CORTE LASER	ACERO HR	0,009 kg
21	16	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-021.ipt	SOPORTE CREMALLERA	CORTE LASER	ACERO HR	0,408 kg
22	2	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-024.ipt	LAMINA SOPORTE DEL ANTICAIDA	CORTE LASER	ACERO HR	1,678 kg
23	4	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-025.ipt	PIE AMIGO DEL ANTICAIDA	CORTE LASER	ACERO HR	0,156 kg
24	16	11116101.iam	POSTE 60 x 60 x 2220	SATECH	ACERO HR	7,148 kg
25	1	11117000.iam	PUERTA SATECH	SATECH	ACERO HR	3,334 kg
26	1	1500x2080H.ipt	MALLA CORTADA	SATECH	ACERO HR	2,295 kg
27	4	50000741.ipt	Marco 20 L=200 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	3,645 kg
28	7	50000742.ipt	Marco 20 L=300 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	4,393 kg
29	4	50000743.ipt	Marco 20 L=700 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	7,385 kg
30	1	50000744.ipt	Marco 20 L=800 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	8,133 kg
31	1	50000746.ipt	Marco 20 L=1200 A=2080mm	SATECH	ACERO HR	11,125 kg
32	1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-001.iam	TORNILLOS MALLAS	SATECH	N.A	0,000 kg
33	1	PDS2000X2240.iam	PUERTA DESLIZANTE	SATECH	ACERO HR	12,698 kg
34	2	50005806.iam	ULTRASONIDO PARA EL MONTACARGAS	SCHMERSAL	N.A	0,848 kg
35	4	70001407.ipt	Soporte cortina 800	SCHMERSAL	ACERO HR	1,809 kg

Fig. 48 Lista de partes individuales en cantidades totales

35	4	70001407.ipt	Soporte cortina 800	SCHMERSAL	ACERO HR	1,809 kg
36	4	70003396.iam	Sistema neumatico anticaida	SCHMERSAL	N.A	8,827 kg
37	1	ARCA-CLCN-PLLT_L3-2-023.iam	SISTEMA MUTING	SCHMERSAL	N.A	19,022 kg
38	80	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-022.ipt	SEPARADOR CREMALLERA	SCHMERSAL	ACERO HR	0,006 kg
39	16	ARCA-CLCN-PLLT_L3-3-023.ipt	CREMALLERA	SCHMERSAL	ACERO HR	1,925 kg
40	2	BALIZA_D52.ipt	BALIZA	SCHMERSAL	N.A	0,487 kg
41	4	ARANDELA DE PRESION M6.ipt	Helical spring lock washers (metric series)	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
42	111	ARANDELA PLANA M6.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
43	98	ARANDELA PLANA M8.ipt	Plain washers - Normal series - Product grade A	TORNILLERIA	ACERO 1020	0,002 kg
44	16	Chazo1_2inx3in.iam		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,083 kg
45	4	TORNILLO HEX M6x16.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,006 kg
46	6	TORNILLO HEXAGONAL M6 x 25.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,008 kg
47	93	TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,007 kg
48	8	TORNILLO HEXAGONAL M6x50.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,012 kg
49	18	TORNILLO HEXAGONAL M8 x 25.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,018 kg
50	80	TORNILLO HEXAGONAL M8x25.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,016 kg
51	8	TORNILLO SOCKET M6x14.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,006 kg
52	43	TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,000 kg
53	12	TUERCA DE SEGURIDAD M8.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
54	107	WASA M6.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
55	98	WASA M8.ipt		TORNILLERIA	ACERO 1020	0,001 kg
56	636,000 mm	DIN EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 318	DIN EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 318	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	1,132 kg
57	471,239 mm	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 235,62	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 235,62	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	0,839 kg
58	1872,000 mm	DIN EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 468	DIN EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 468	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	1,666 kg
59	2160,000 mm	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 720	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 720	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	2,563 kg
60	2034,150 mm	DIN EN 10210-2 48,3 x 3,2 1750692491302	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 2034,15	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	7,154 kg
61	1124,150 mm	DIN EN 10210-2 48,3 x 3,2 1750692491352	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 1124,15	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	3,915 kg
62	550,000 mm	DIN EN 10210-2 48,3 x 3,2 1750694662948	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 550	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	1,958 kg
63	700,000 mm	DIN EN 10210-2 48,3 x 3,2 1750694662984	EN 10210-2 - 48,3 x 3,2 - 700	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	2,491 kg
64	5400,000 mm	ISO 10799-2 60x60x3 POST.ipt	Structural steels - Cold-formed, welded, structural hollow sections	TUBERIA ESTRUCT	ACERO HR	7,003 kg

Fig. 49 Lista de partes individuales en cantidades totales

7. Diseño de sistema de seguridad industrial de Llenadora en la ciudad de Mexico

7.1 Planteamiento del problema de llenadora e identificación de riesgos

La máquina llenadora representa un punto del proceso en el que la interacción entre el operario y los mecanismos automáticos hace necesario un análisis detallado de riesgos. Este equipo cuenta con múltiples elementos en movimiento —como pistones, sistemas de elevación, y transportadores— que pueden generar riesgos mecánicos de atrapamiento, corte o aplastamiento durante las fases de carga, llenado y descarga. Además, al trabajar con productos líquidos, la exposición a derrames o salpicaduras puede comprometer tanto la seguridad del personal como la integridad de los componentes eléctricos. Por estas razones, la estructura de la llenadora debe fabricarse en acero inoxidable, material que no solo garantiza una alta resistencia a la corrosión y facilita la limpieza, sino que también cumple con los requerimientos de higiene y durabilidad propios de entornos industriales o alimentarios. Estas condiciones evidencian la necesidad de establecer medidas de seguridad específicas y sistemas de control que aseguren un funcionamiento confiable y seguro del equipo.



Fig. 50 Llenadora en Mexico

Tras realizar el análisis de riesgos, se determinó que la llenadora cuenta con un cerramiento perimetral completo, lo que permite reducir significativamente la exposición del operario a las partes móviles. En este caso, el riesgo residual se concentra en los puntos de acceso al interior del perímetro, los cuales deben ser controlados para garantizar la seguridad durante la operación y las

tareas de mantenimiento. Para ello, se propone la implementación de dispositivos de enclavamiento por solenoide, como el modelo AZM300, que aseguran el bloqueo físico de las puertas hasta que se cumplan las condiciones seguras de parada. En total, se identificaron cinco accesos que requieren monitoreo mediante estos dispositivos (Fig. 51, Fig. 52, Fig. 53, Fig. 54), con el fin de mantener la integridad del sistema de seguridad y prevenir la exposición accidental a zonas de riesgo, Adicionalmente se identifica un punto de acceso a través de una escalera (Fig. 55)



Fig. 51 Acceso con puerta pivotante doble



Fig. 52 Acceso puerta pivotante 1



Fig. 53 Acceso puerta pivotante 2



Fig. 54 Acceso puerta pivotante 3



Fig. 55 Escaleras

7.2 Modelación CAD del entorno de llenadora en Mexico

Para la modelación CAD del entorno de la llenadora se tomó como referencia la estructura física existente, dado que el cerramiento perimetral ya se encuentra instalado en planta. Por esta razón, el modelado se centró principalmente en la representación detallada de los puntos de acceso, conformados por cinco puertas tipo hoja, las cuales permiten el ingreso al interior del perímetro para labores de mantenimiento y ajuste. Cada acceso fue modelado considerando sus dimensiones reales, sentido de apertura y posición dentro del cerramiento, con el fin de establecer una base precisa para la posterior definición de los dispositivos de enclavamiento y elementos de seguridad asociados. En las figuras Fig. 56 Fig. 57 Fig. 58 se muestra la modelación del entorno.

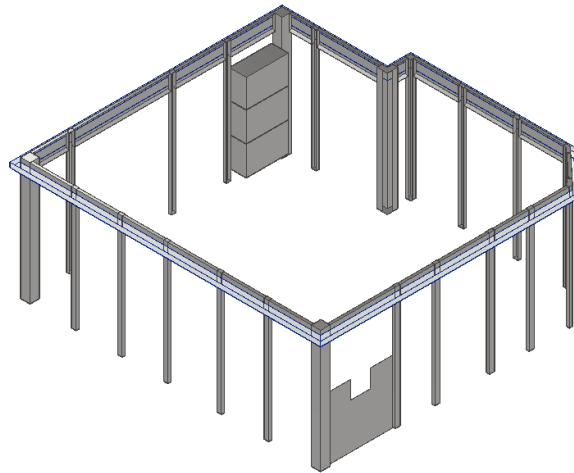


Fig. 56 Estructura del cerramiento

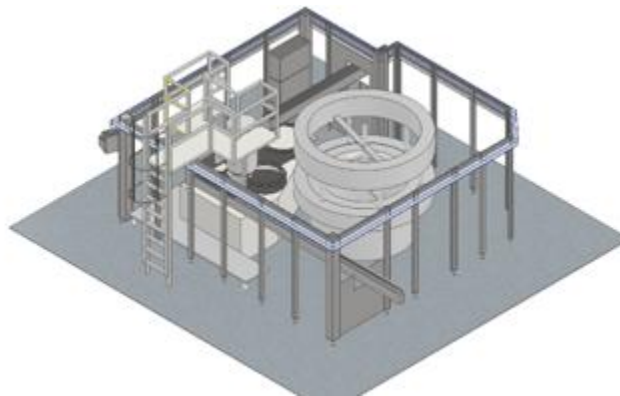


Fig. 57 Entorno Base

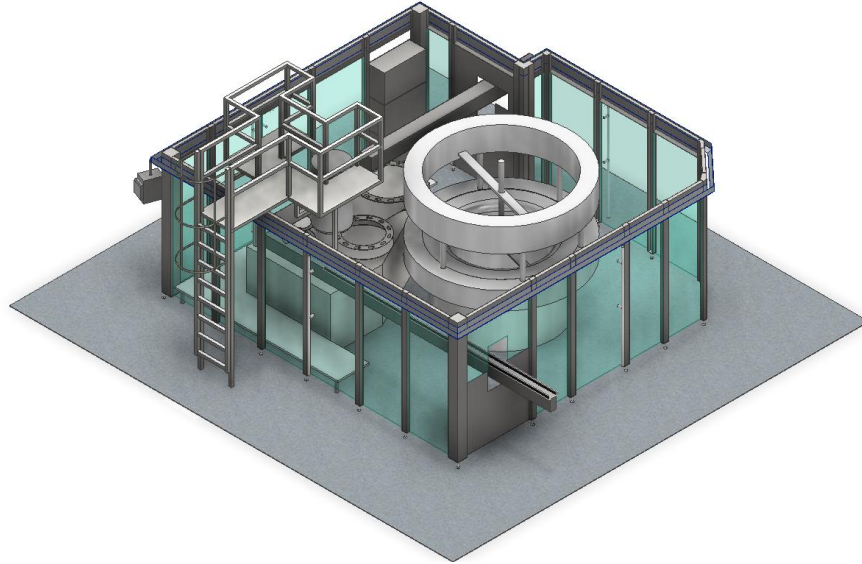


Fig. 58 Entorno de Llenadora

7.3 Conceptos propuestos para reducir los riesgos asociados a la llenadora de Mexico

Para el debido monitoreo de los accesos se propone el uso de llaves AZM300 con antipánico, estas deben ser instaladas al interior para el posible caso de que una persona quede al interior cuando se ponga en funcionamiento la máquina. Adicionalmente también se propone la adición de un JOG para los casos en que se deba ingresar con la maquina en funcionamiento. Debido a la simplicidad del cerramiento se observa que es posible aplicar el mismo concepto en cada acceso pivotante (Fig. 59 Fig. 60 Fig. 61 Fig. 62)

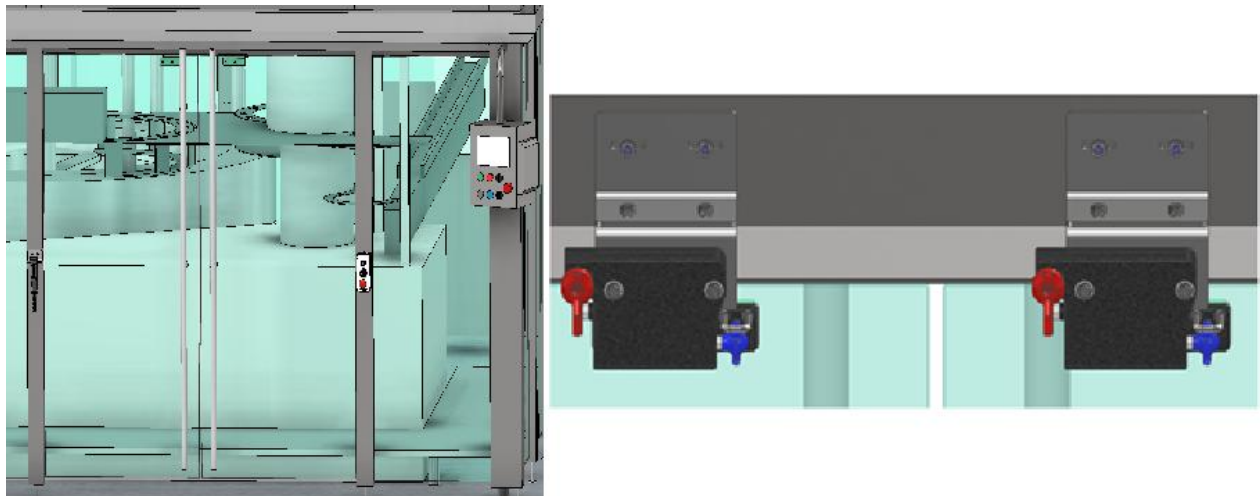


Fig. 59 Concepto para el acceso de puerta pivotante doble

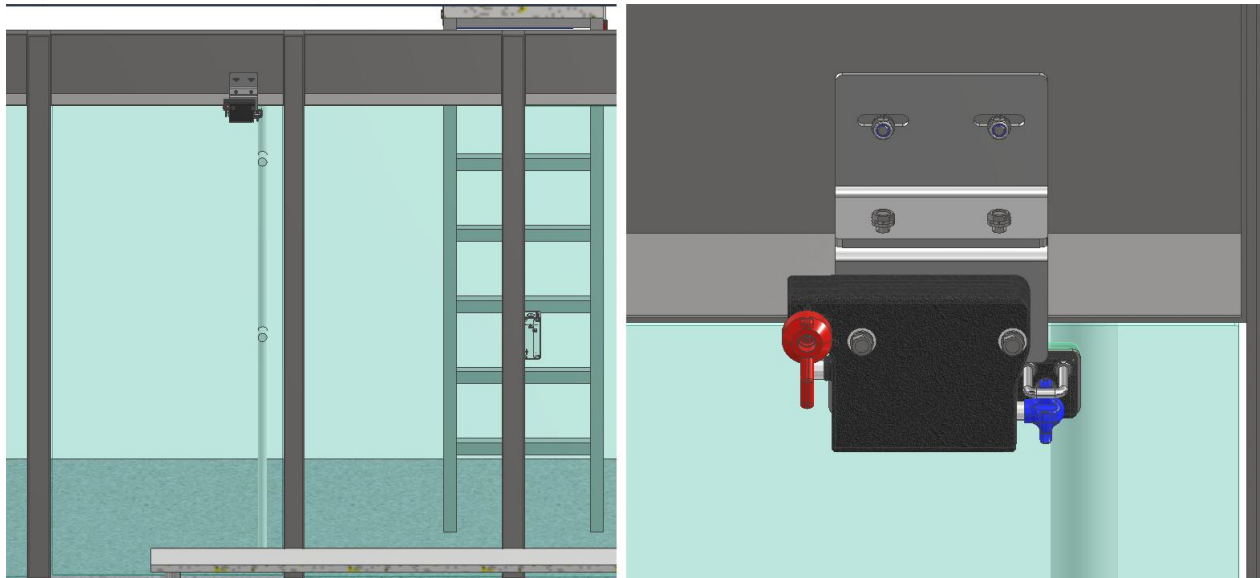


Fig. 60 Concepto para el acceso de puerta pivotante 1

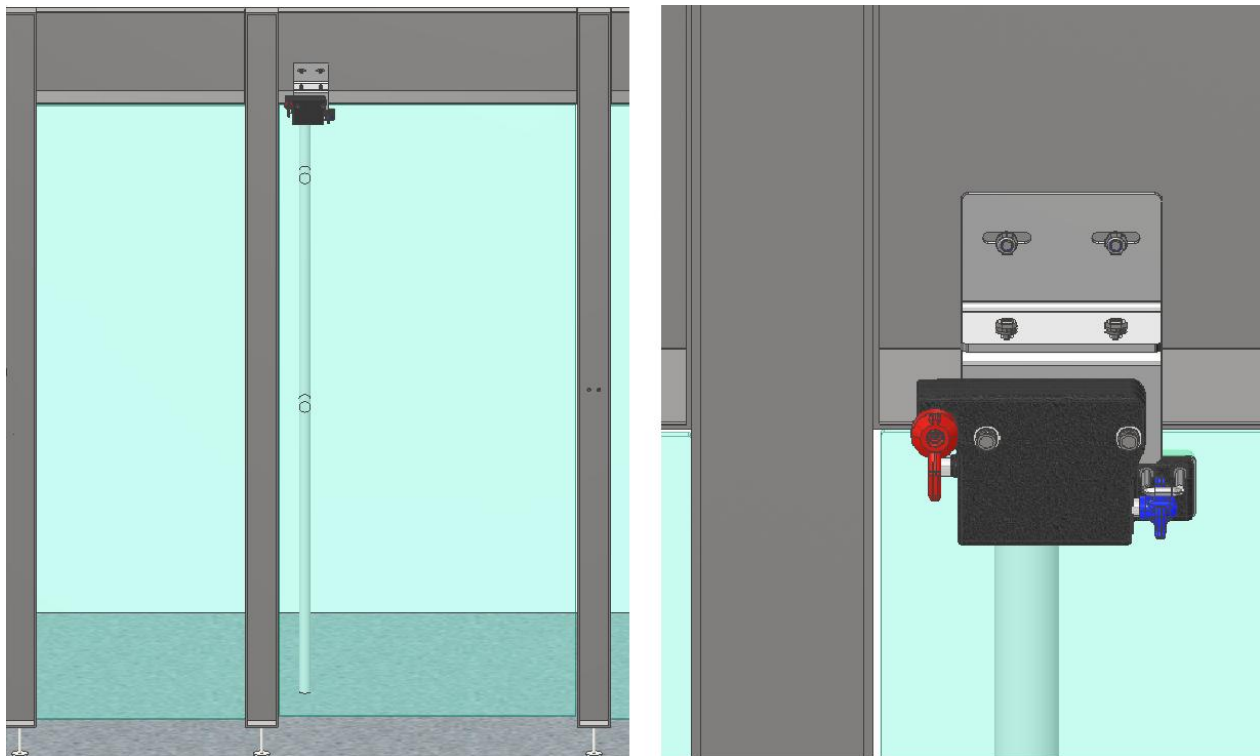


Fig. 61 Concepto para el acceso de puerta pivotante 2

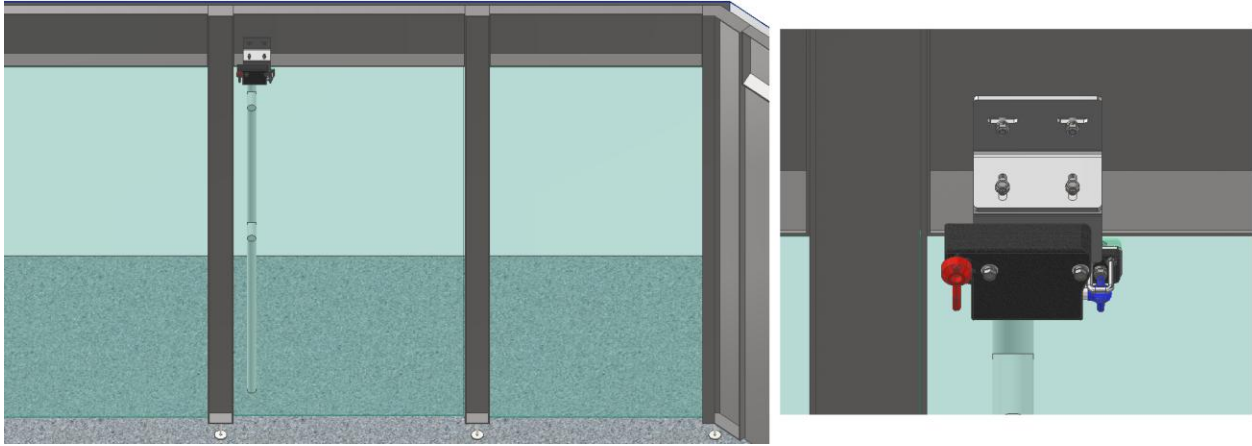


Fig. 62 Concepto para el acceso de puerta pivotante 3

Para el acceso por escalera se propone el uso de un candado LOTO (Fig. 63) debido a la poca frecuencia de uso de la escalera.

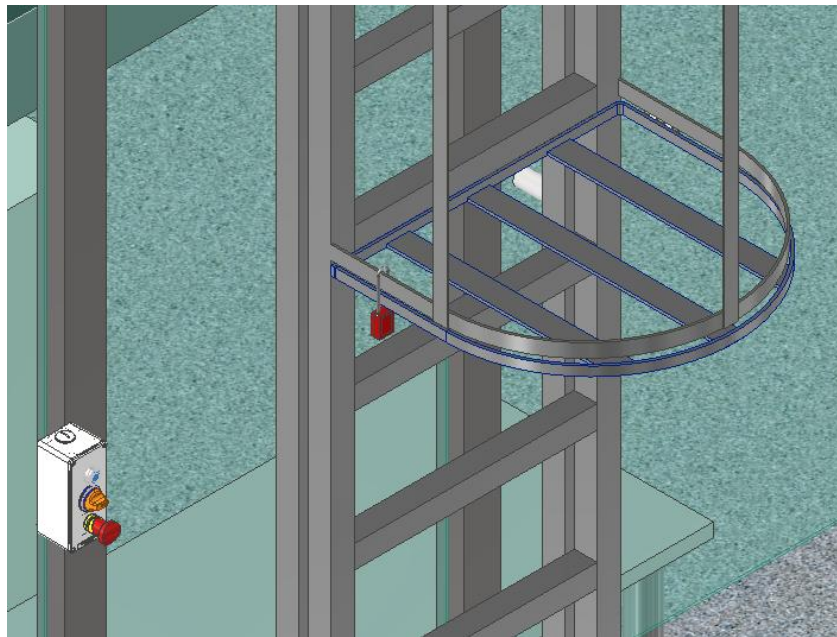


Fig. 63 Concepto para instalación de candado LOTO en escalera

7.4 Diseño de detalle de seguridad de la llenadora de Mexico

Para los soportes de las llaves AZM300 se emplearon dos láminas diseñadas para proporcionar tres grados de libertad en el ajuste del sensor, lo que facilita su alineación y montaje en el entorno de la máquina. Las láminas tienen un espesor de 4,5 mm, seleccionado para garantizar una rigidez estructural suficiente que resista los esfuerzos mecánicos a los que pueden someterse cuando

alguien intente abrir un punto de acceso mientras la máquina esté en funcionamiento; en esa situación, el bloqueo por solenoide impide la apertura prematura. El material especificado es acero inoxidable 304 (AISI 304), elegido por su excelente resistencia a la corrosión, su superficie lisa de fácil limpieza

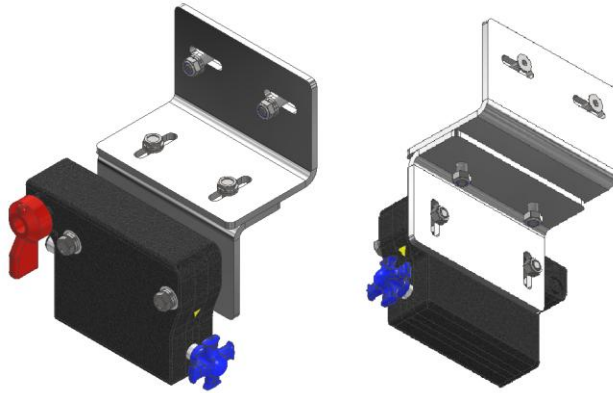


Fig. 64 Montaje de AZM300

7.4.1 Descripción del funcionamiento del sistema de seguridad de la llenadora

La llenadora cuenta con cinco puntos de acceso que serán monitorizados mediante sensores de seguridad Schmersal AZM300. Estos dispositivos garantizan que todas las puertas de acceso permanezcan cerradas durante el funcionamiento del equipo. En caso de que alguno de los accesos sea abierto, la llave envía una señal al PLC/rele de seguridad, provocando la parada segura de los movimientos peligrosos y evitando así cualquier riesgo para el operario.

Además, el sistema dispone de una botonera de mando que incorpora los elementos necesarios para la operación y la seguridad, como el de parada de emergencia, el rearme de seguridad y el inicio de funcionamiento.

La llenadora también cuenta con dos dispositivos JOG, los cuales permiten realizar movimientos controlados y de corta duración del sistema, normalmente utilizados durante tareas de mantenimiento, ajuste o limpieza. El uso de JOGS es fundamental porque permite al personal técnico posicionar los actuadores o mecanismos con precisión, manteniendo al mismo tiempo un nivel elevado de seguridad, ya que el movimiento solo se produce mientras se mantiene pulsado el botón y un pulsador en posición intermedia de forma tal que, si la persona pierde su concentración u ocurre un accidente, se detiene la máquina.

La tabla Tabla 7 indica los actuadores (motores) que son interrumpidos por la función de seguridad cuando alguno de los puntos de acceso monitorizados es abierto. Esto permite identificar qué movimientos son detenidos de forma segura dependiendo del área de intervención.

Tabla 7
Motores a intervenir en la llenadora de Mexico

Ítem	Motor y descripción
01	MOTOR ACCIONAMIENTO PRINCIPAL – 32 A, 15 KW – VARIADOR DANFOSS VLT FC-302 SI STO
02	MOTOR ACCIONAMIENTO DISCO DE TAPAS + FRENO – 3 A, 0.74 KW – VARIADOR DANFOSS VLT FC-302 SI STO

8. Resultados diseño de seguridad de llenadora de Mexico.

Se dio aprobación a las propuestas se procedió a la elaboración de los planos detallados para fabricación y montaje, así como a la documentación técnica correspondiente, asegurando que el proyecto quedara listo para su implementación en planta la Fig. 65 muestra el layout de los dispositivos de seguridad.

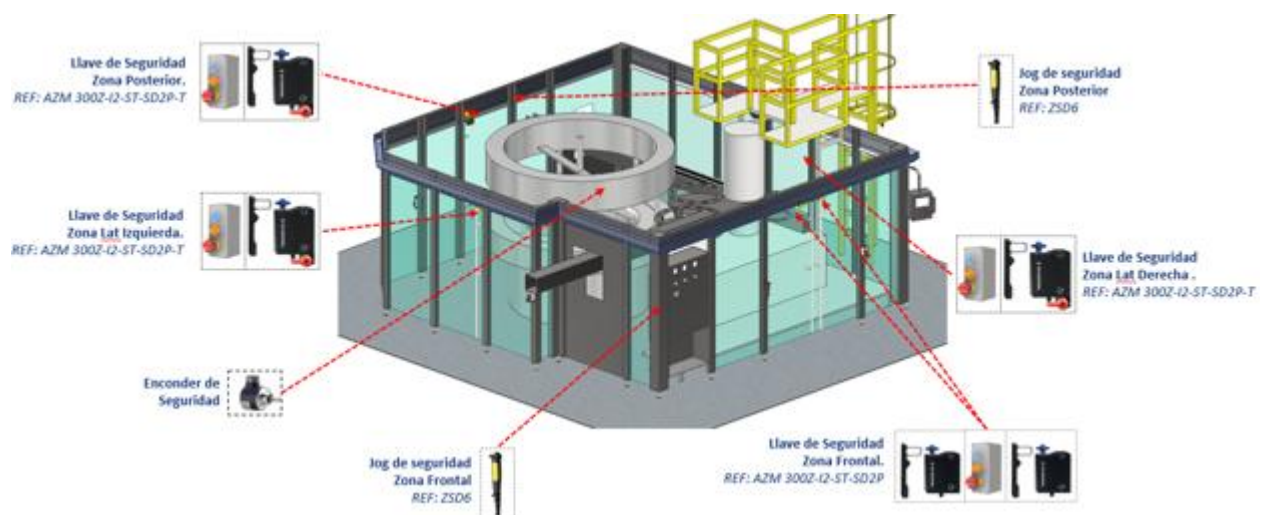


Fig. 65 Layout de dispositivos de seguridad para la llenadora de Mexico

Para el control de seguridad (Fig. 66) se utiliza un PLC de seguridad Schmersal PSC1, el cual se encarga de garantizar el funcionamiento adecuado de todos los dispositivos de seguridad, así como la interrupción segura de los actuadores en caso de detección de una condición de riesgo.

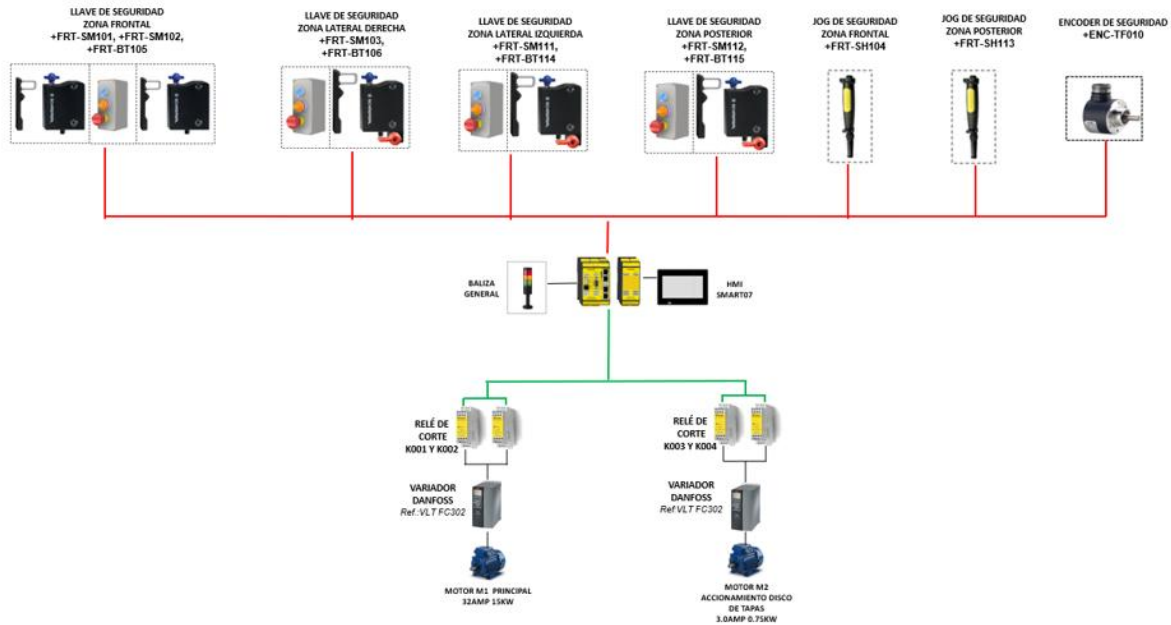


Fig. 66 Control de sistema de seguridad de llenadora de México

Se realizan los planos de chapas requeridas para el montaje de las llaves y actuadores, y un plano de ubicación de los elementos propuestos (Fig. 67). Y se procede a realizar la lista de partes por plano y partes total ()

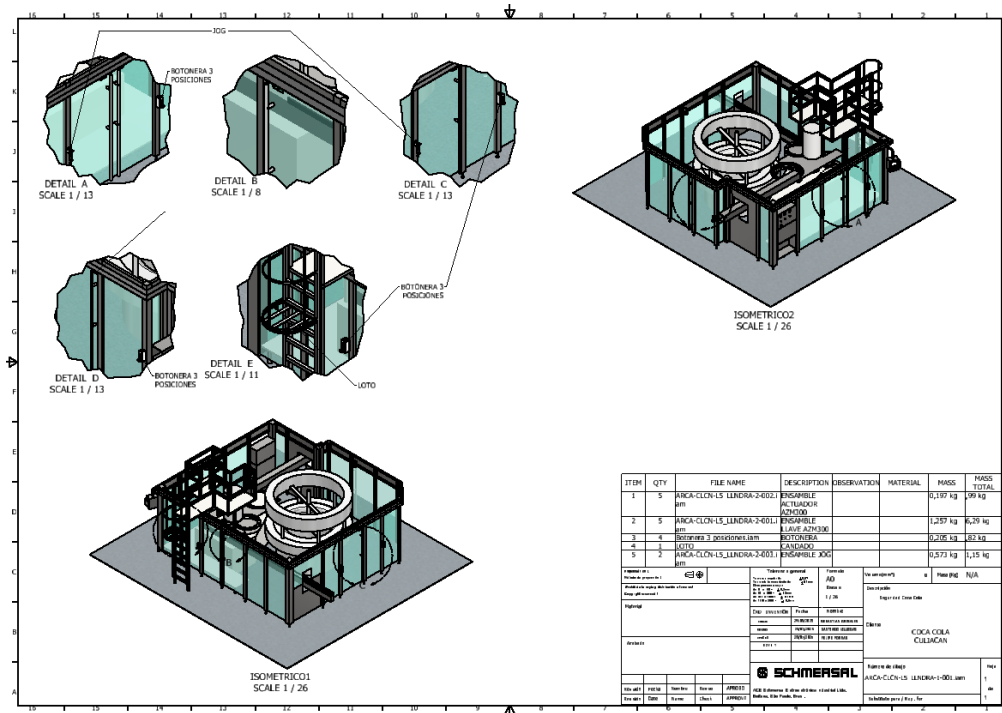


Fig. 67 Plano de ubicación de las propuestas mecánicas para mejorar la seguridad y reducir los riesgos asociados a la operación del llenadora

Item	Cant.	Nombre	Descripción	Observación	Material	Masa (Kg.)	
						Unit.	Total
1	5	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-2-002.iam	ENSAMBLE ACTUADOR AZM300 Y SOPORTE			0,197	0,985
2	5	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-2-001.iam	ENSAMBLE LLAVE AZM300 CON ANTIPANICO			1,257	6,285
3	4	Botonera 3 posiciones.iam	BOTONERA			0,205	0,82
4	2	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-2-003.iam	ENSAMBLE JOG			0,573	1,146
5	1	LOTO CANDADO	CANDADO		Generic	0,062	0,062

Item	Cant.	Nombre	Descripción	Observación	Material	Masa (Kg.)	
						Unit.	Total
1.1	1	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-3-003.ipt	SOPORTE ACTUADOR		AISI 304	0,107	0,107
1.2	1	101218025.ipt	Actuador AZ/AZM300-B1			0,047	0,047
1.3	2	TORNILLO HEXAGONAL M6x35.ipt			AISI 304	0,009	0,018
1.4	2	WASA M6.ipt			AISI 304	0,001	0,002
1.5	4	ARANDELA M6.ipt			AISI 304	0,001	0,004
1.6	2	TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt			AISI 304	0	0
1.7	2	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-3-003 complet	BASE SILICONA PARA SEPARAR METAL DE POLICARBONATO		SILICONA	0,009	0,018

Fig. 68 Lista de partes por ensamble de la llenadora

ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-2-001							
Item	Cant.	Nombre	Descripción	Observación	Material	Masa (Kg.)	
						Unit.	Total
2.1	1	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-3-001.ipt	SOPORTE		AISI 304	0,497	0,497
2.2	1	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-3-002.ipt	SOPORTE		AISI 304	0,371	0,371
2.3	1	103006865.ipt	Llave AZM300Z-ST-1P2P-T			0,323	0,323
2.4	2	ABELLANADO M6x25.ipt			AISI 304	0,006	0,012
2.5	6	ARANDELA M6.ipt			AISI 304	0,001	0,006
2.6	6	WASA M6.ipt			AISI 304	0,001	0,006
2.7	6	TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt	STEP AP203			0	0
2.8	2	TORNILLO HEXAGONAL M6x25.ipt			AISI 304	0,008	0,016
2.9	2	TORNILLO HEXAGONAL M6x50.ipt			AISI 304	0,012	0,024
ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-2-003							
Item	Cant.	Nombre	Descripción	Observación	Material	Masa (Kg.)	
						Unit.	Total
1	1	ARCA-MX_CLCN-L1_LLNDRA-3-004.ipt			AISI 304	0,39	0,39
2	1	ARCA-MX_CLCN-L1_LLNDRA-3-005.ipt			AISI 304	0,341	0,341
3	1	103006865.ipt	Llave AZM300Z-ST-1P2P-T			0,323	0,323
4	2	TORNILLO HEXAGONAL M6x50 T.ipt			AISI 304	0,012	0,024
5	6	WASA 6A.ipt			AISI 304	0,001	0,006
6	6	ARANDELA M6.ipt			AISI 304	0,001	0,006
7	6	TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt			AISI 304	0,003	0,018
8	2	ABELLANADO M6x25.ipt			AISI 304	0,006	0,012
9	2	TORNILLO HEXAGONAL M6x20.ipt			AISI 304	0,007	0,014
ARCA-MX_CLCN-L1_LLNDRA-2-005							
Item	Cant.	Nombre	Descripción	Observación	Material	Masa (Kg.)	
						Unit.	Total
4.1	1	194443.ipt	JOG ZSD6/5M		Generic	0,244	0,244
4.2	1	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-3-004.ipt	SOPORTE JOG		AISI 304	0,309	0,309
4.3	2	WASA M6.ipt			AISI 304	0,001	0,002
4.4	2	ARANDELA M6.ipt			AISI 304	0,001	0,002
4.5	2	TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt			AISI 304	0	0
4.6	2	TORNILLO HEXAGONAL M6x25.ipt			AISI 304	0,008	0,016

Fig. 69 Lista de partes por ensamble de la llenadora continuación

ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-1-001 (TOTAL)							
Item	Cant.	Nombre	Descripción	Observación	Material	Masa (Kg.)	
						Unit.	Total
29	5	101218025.ipt	Actuador AZ/AZM300-B1			0,047	0,235
3	5	103006865.ipt	Llave AZM300Z-ST-1P2P-T			0,323	1,615
32	2	194443.ipt	JOG ZSD6/5M			0,244	0,488
4	10	ABELLANADO M6x25.ipt			AISI 304	0,006	0,06
5	54	ARANDELA M6.ipt			AISI 304	0,001	0,054
1	5	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-3-001.ipt	SOPORTE		AISI 304	0,497	2,485
2	5	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-3-002.ipt	SOPORTE		AISI 304	0,371	1,855
28	10	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-3-003 complem	BASE SILICONA PARA SEPARAR METAL DE POLICARBONATO		Generic	0,009	0,09
27	5	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-3-003.ipt	SOPORTE ACTUADOR		AISI 304	0,107	0,535
31	2	ARCA-CLCN-L5_LLNDRA-3-004.ipt	SOPORTE JOG		AISI 304	0,309	0,618
33	4	Botonera 3 posiciones.iam				0,205	0,82
8	14	TORNILLO HEXAGONAL M6x25.ipt			AISI 304	0,008	0,112
30	10	TORNILLO HEXAGONAL M6x35.ipt			AISI 304	0,009	0,09
9	10	TORNILLO HEXAGONAL M6x50.ipt			AISI 304	0,012	0,12
7	44	TUERCA DE SEGURIDAD M6.ipt			AISI 304	0	0
6	44	WASA M6.ipt			AISI 304	0,001	0,044

Fig. 70 Lista de partes total llenadora

9. Diseño de sistema de seguridad industrial de Depaletizadora

9.1 Planteamiento del problema de depaletizadora e identificación de riesgos

El área de trabajo de la depaletizadora está compuesta por el robot depaletizador, las bandas transportadoras y un cerramiento perimetral en malla metálica. Dicho cerramiento cuenta con cuatro accesos mediante puertas deslizantes y un acceso adicional con puerta pivotante ubicada en una plataforma que permite el acceso a los motores de la depaletizadora.

Se busca mejorar el sistema de seguridad existente, implementando llaves de bloqueo por solenoide y un dispositivo adicional de redundancia mediante el uso de llaves atrapadas. Desde el punto de vista mecánico, será necesario incorporar un sistema de frenado para el robot depaletizador, debido a que este opera con movimientos verticales. Además, uno de los requerimientos del cliente es reducir al máximo el tiempo potencial de caída del robot, con el fin de prolongar la vida útil de los elementos de seguridad y del propio equipo.

9.2 Modelación CAD del Entorno de la depaletizadora en Boyacá

Debido a que la maquina es espejo a otra a la que anteriormente la empresa había realizado un sistema de seguridad, se decide utilizar el entorno de la maquina espejo con algunas modificaciones como la plataforma de mantenimiento y la puerta de acceso de dicha plataforma (Fig. 71).

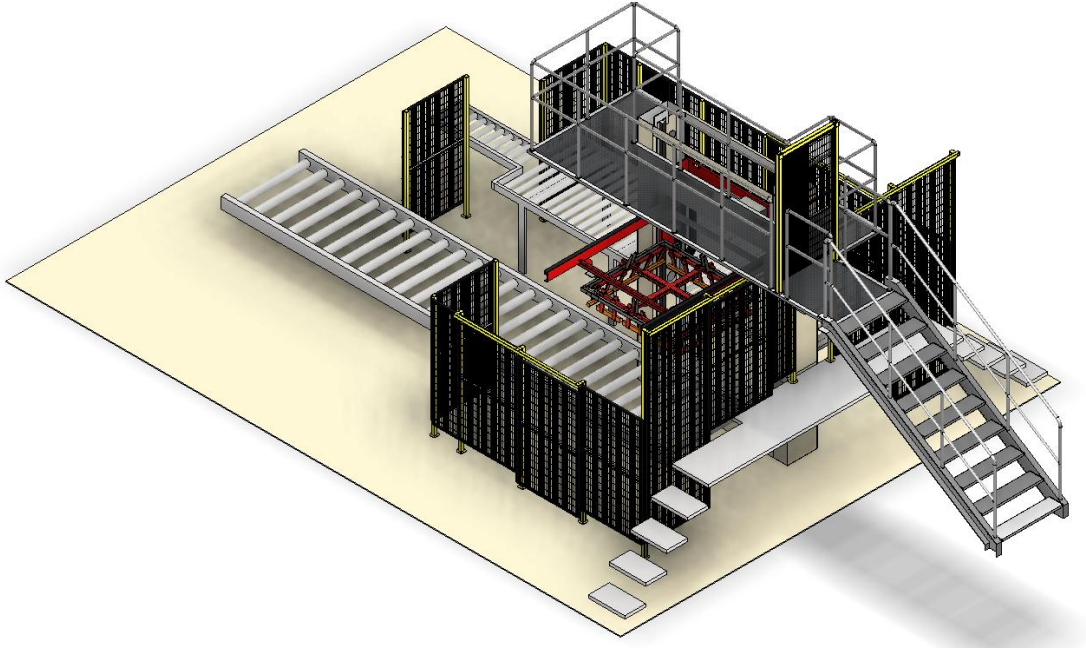


Fig. 71 Entorno de depaletizadora

9.3 Conceptos propuestos para reducir los riesgos asociados a la depaletizadora

Para los cuatro primeros accesos, se emplea el mismo concepto de diseño, ya que corresponden a puertas deslizantes con dimensiones similares (Fig. 72 Fig. 73 Fig. 74 Fig. 75). El sistema de seguridad se basa en la instalación de interruptores de seguridad Schmersal AZM150 con función antipánico, montados sobre una chapa base metálica fijada mediante roscado a la parte estructural fija (PTS). Los actuadores de las AZM150 se ubican en las puertas deslizantes, y tanto las llaves atrapadas como sus actuadores se instalan también sobre chapas base metálicas, asegurando una montura robusta y alineada entre los componentes móviles y fijos del sistema.

En el caso de la puerta pivotante, el concepto de diseño es similar al de las puertas deslizantes, ya que incorpora los mismos dispositivos de seguridad. Sin embargo, la configuración y el montaje de las chapas base difieren, con el fin de garantizar el correcto acoplamiento entre el actuador y las llaves durante el movimiento pivotante de la puerta (Fig. 76).

Para cumplir con el requerimiento de reducir la caída libre de la máquina al momento del apagado, se propone implementar un sistema anticaídas con doble pistón. Este diseño garantiza que, en todo momento, al menos uno de los dos pistones se inserte en el oblongo de la lámina

cremallera, asegurando así la retención mecánica del conjunto y evitando descensos bruscos del robot depaletizador (Fig. 78, Fig. 79, Fig. 80).

Para las botoneras se propone un diseño compuesto por dos partes: una lámina doblada en forma de caja y una tapa de cierre. Ambos elementos se montarán sobre la malla perimetral, utilizando dos láminas de acero que servirán como sistema de sujeción y refuerzo. Esta misma solución de montaje se propone para la lámina soporte del módulo de llaves atrapadas, garantizando una instalación sólida y estandarizada entre los diferentes componentes. (Fig. 77) y un soporte para el tablero con el que se busca dejar are superficial libre en la parte inferior del tablero, este soporte se sujetara de ángulos (perfileria angular) que se sujetara por unión pernada desde la parte inferior de una plataforma (Fig. 81)

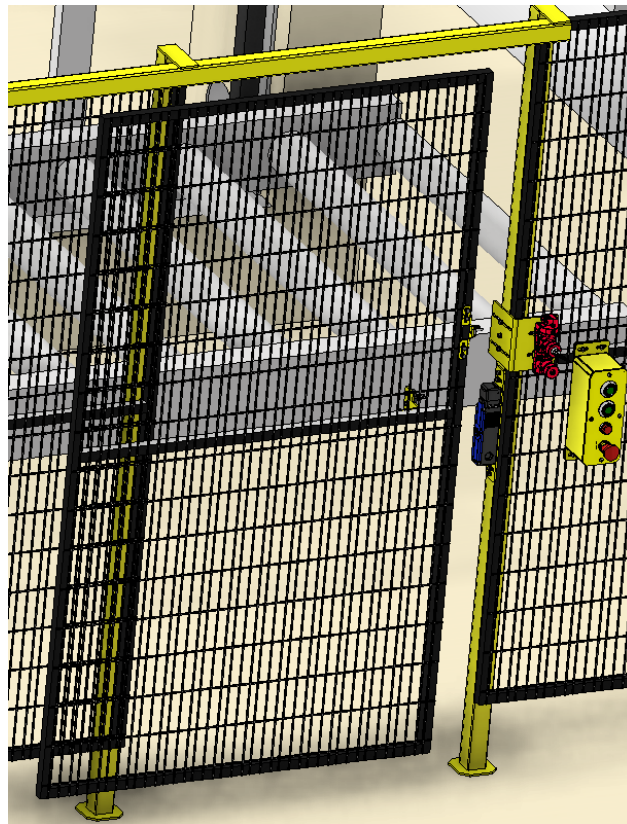


Fig. 72 Concepto de seguridad de puerta deslizante 1

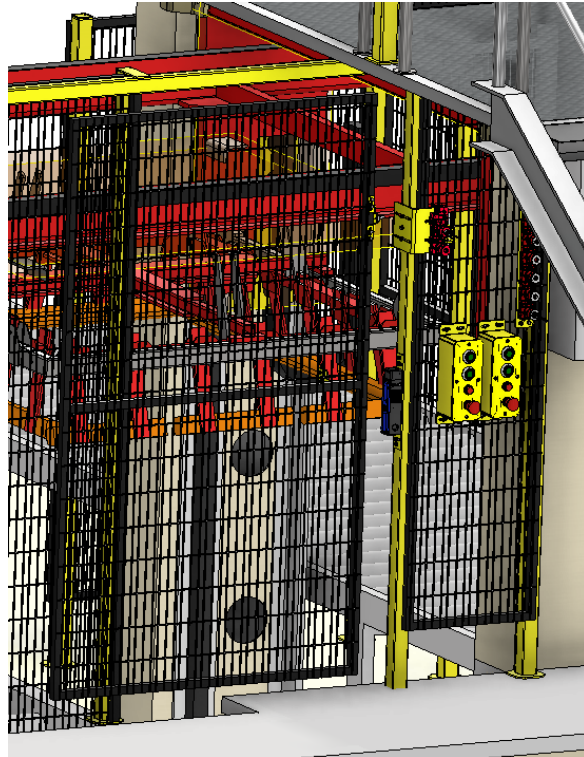


Fig. 73 Concepto de seguridad de puerta deslizante 2



Fig. 74 Concepto de seguridad de puerta deslizante 3



Fig. 75 Concepto de seguridad de puerta deslizante 4

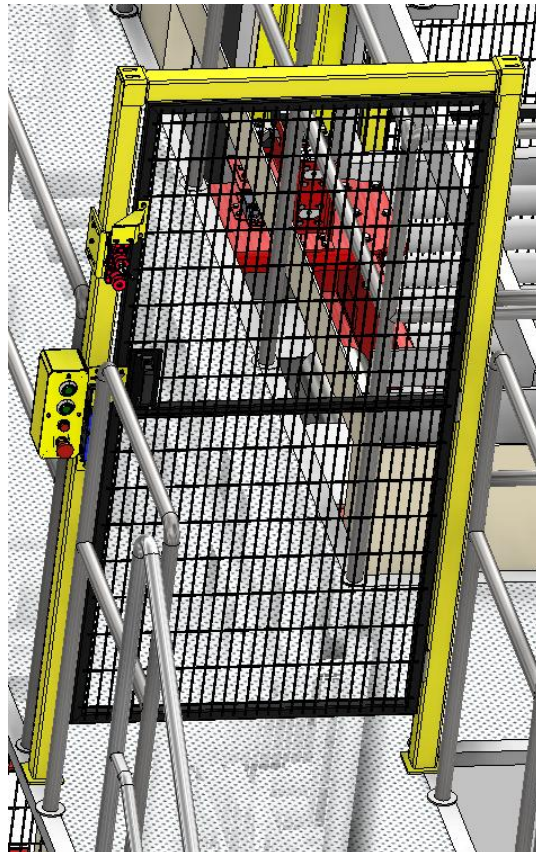


Fig. 76 Concepto de seguridad de puerta pivotante

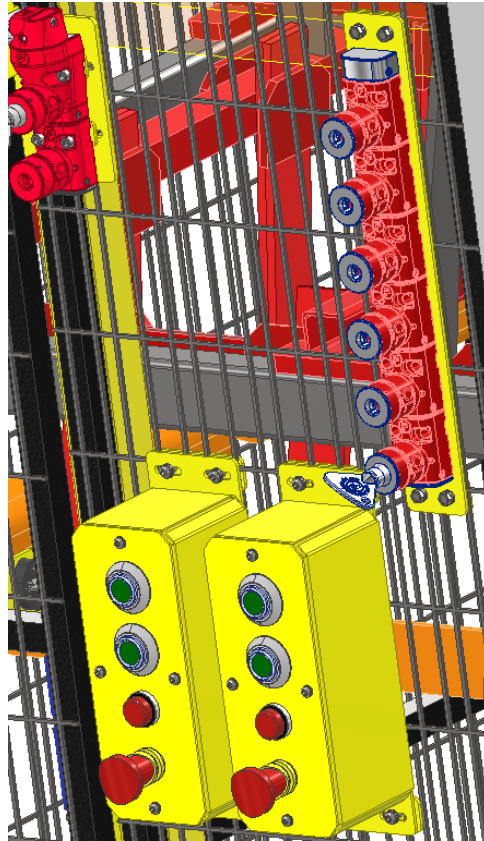


Fig. 77 Botonera y módulo de llaves

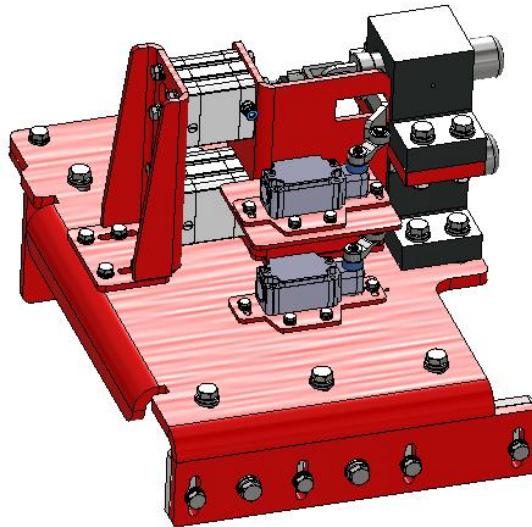


Fig. 78 Concepto para el sistema anticaidas, piston doble



Fig. 79 Concepto de montaje del sistema anticaidas

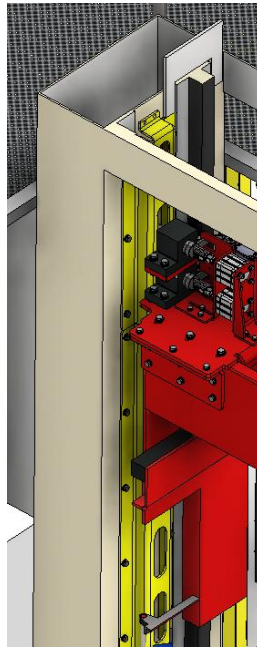


Fig. 80 Cremallera del sistema anticaidas

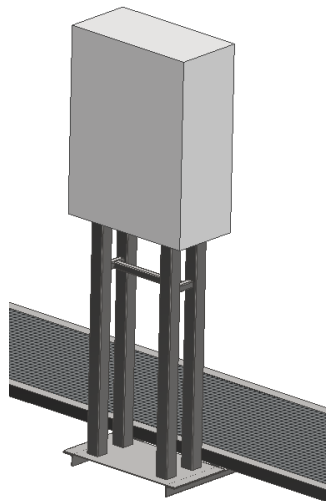


Fig. 81 Estructura de soporte para tablero electrico

9.4 Diseño de detalle

Tomando en consideración el tipo de máquina y el ambiente de operación, se decidió utilizar principalmente acero HR como material para las láminas empleadas en el proyecto. Estas piezas, una vez fabricadas, serán pintadas con el fin de protegerlas contra la corrosión y mantener una apariencia estética coherente con la máquina.

El soporte del tablero se fabricará en acero inoxidable, con el objetivo de mantener una uniformidad visual respecto al tablero de la máquina espejo (paletizadora) ubicada junto a la depaletizadora. Finalmente, la tornillería utilizada es de acero inoxidable, de acuerdo con los requerimientos específicos del cliente.

El pistón pneumático seleccionado es el AEN-S-50-25-A-P-A-Z que corresponde un pistón compacto festo con diámetro de 50mm, con carrera de 25mm, rosca exterior (A), de anillos elásticos/tapa de amortiguación en ambos lados (P), con detector de posición (A), y de simple efecto a tracción (Z).

Para cumplir con la condición de diseño que establece que, en todo momento, al menos un pistón debe encajar en la cremallera, se diseñaron los oblongos de la lámina cremallera del sistema anticaídas de manera que su dimensión longitudinal sea mayor que la distancia vertical entre ambos pistones. De esta forma, se garantiza que nunca coincidan ambos pistones sobre una zona sólida de la lámina, evitando interferencias y asegurando el funcionamiento continuo del sistema de retención (Fig. 83 Fig. 84).

En el sistema anticaídas, el vástago del pistón no se acopla directamente con la cremallera. Para ello, se diseñó un conjunto compuesto por un eje y un buje, ambos fabricados mediante maquinado, los cuales se ensamblan a un par de láminas cortadas por láser mediante soldadura, permitiendo una configuración práctica para el montaje de este subconjunto (Fig. 85).

El propósito del eje y el buje es garantizar una correcta alineación del sistema y proporcionar una estructura robusta capaz de resistir los esfuerzos generados al sostener el peso del robot depaletizador.

Para el buje se selecciona el material AISI 1045 (Fig. 86) y para el eje el material AISI 4140 (Fig. 87), debido a sus propiedades mecánicas adecuadas para componentes sometidos a carga y desgaste. El AISI 1045, al ser un acero medio carbono, ofrece una buena maquinabilidad, resistencia y tenacidad, lo que lo hace ideal para piezas como bujes que requieren precisión

dimensional y capacidad de absorción de esfuerzos moderados. Por su parte, el AISI 4140 es un acero aleado al cromo-molibdeno con mayor resistencia a la fatiga, dureza y tenacidad, características que lo hacen adecuado para ejes que deben transmitir esfuerzos y soportar cargas dinámicas sin deformarse.

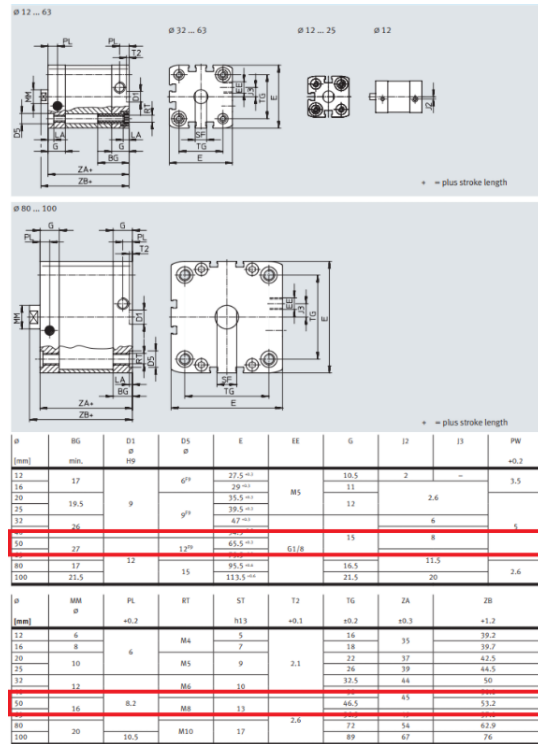


Fig. 82 Datasheet de piston compacto festo

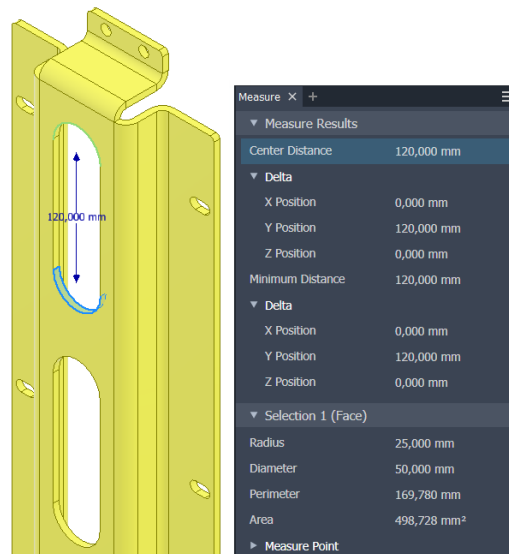


Fig. 83 Dimension distancia entre centros de oblongo

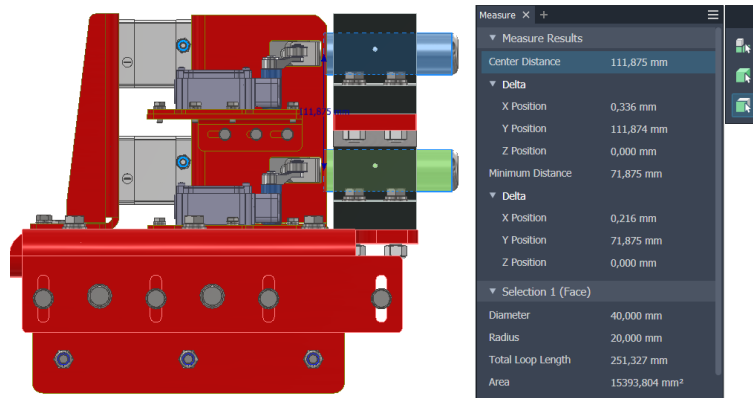


Fig. 84 Dimension distancia vertical entre los pistones del sistema anticaidas

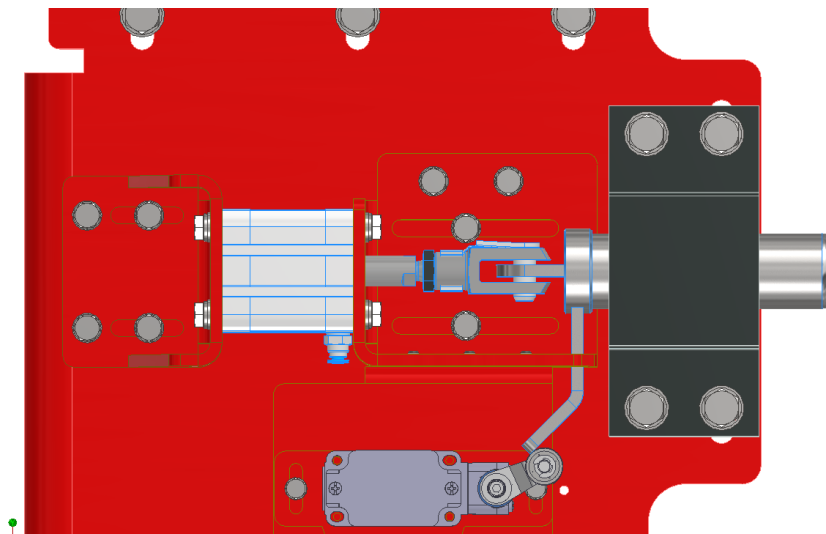


Fig. 85 union entre el pistón compacto y el eje del sistema anticaidas por medio de un caballete

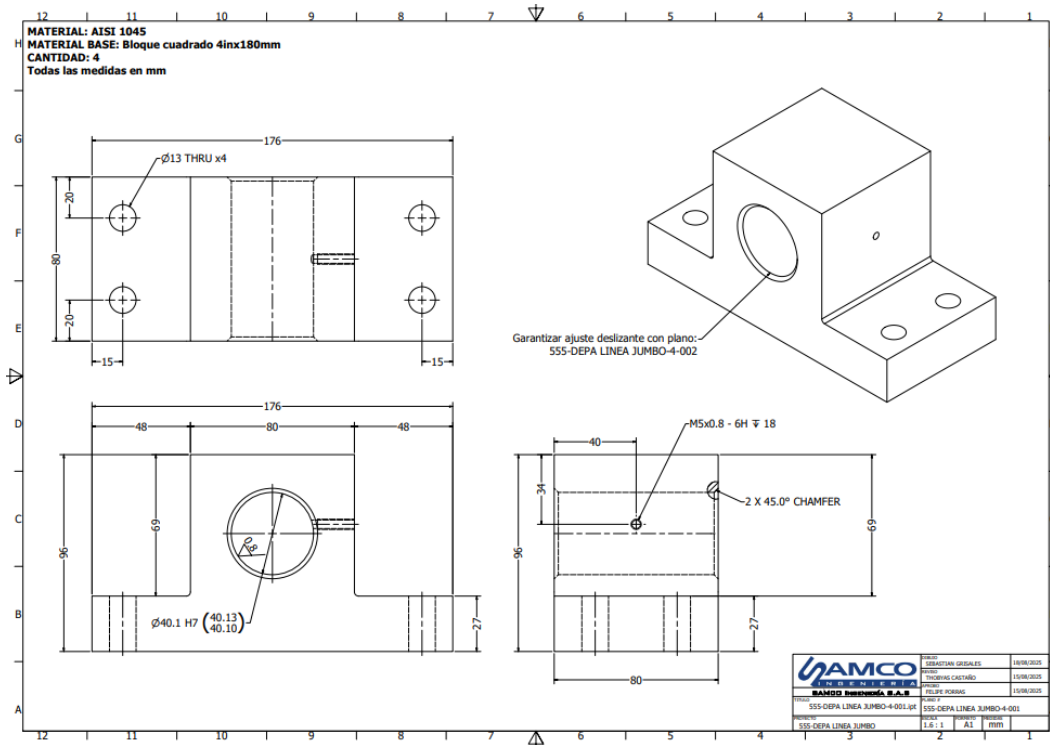


Fig. 86 Plano de maquinado del buje para sistema anticaidas

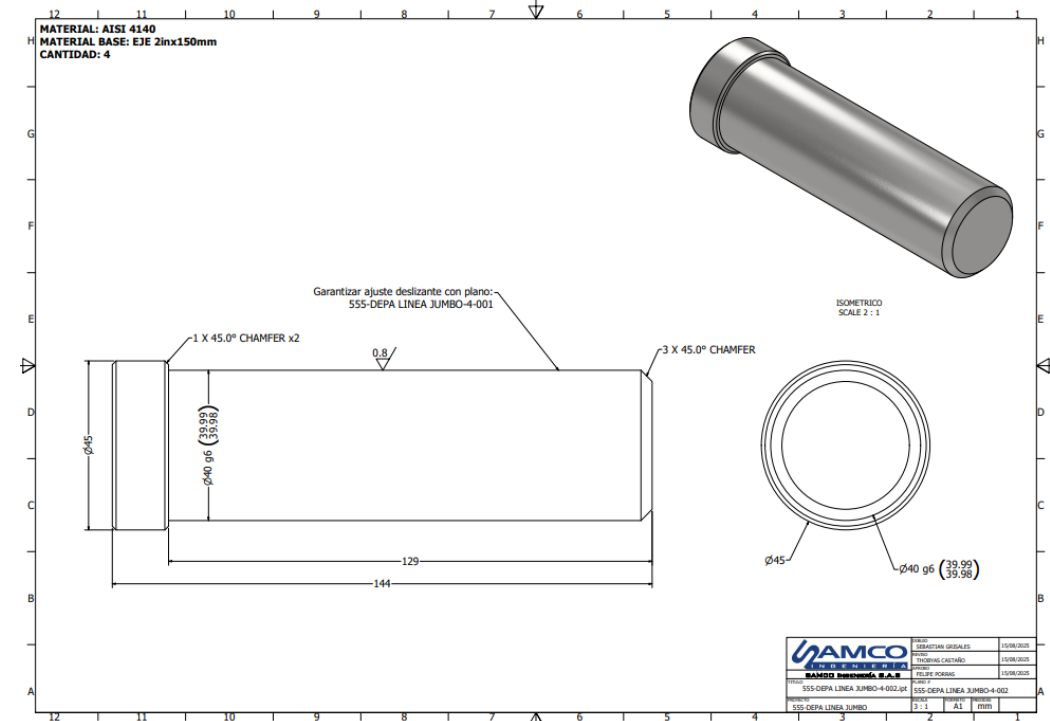


Fig. 87 Plano de maquinado de eje del sistema anticaidas

9.5 Fabricación

Para la fabricación de las piezas se coordinó con diferentes proveedores, seleccionados según el proceso de manufactura requerido para cada componente. La mayoría de las partes fueron producidas mediante corte láser y doblado, mientras que solo algunas piezas específicas requirieron procesos de maquinado.

Con el fin de facilitar el ensamblaje y desensamble, se procuró que la mayor parte de los componentes fueran unidos mediante tornillería; sin embargo, algunas uniones requirieron el uso de soldadura por razones estructurales. Las piezas fabricadas en acero HR fueron pintadas con recubrimiento electrostático, y finalmente se prepararon para su envío a planta, donde se llevaría a cabo el montaje final del sistema. Las imágenes desde la Fig. 88 hasta la Fig. 91 muestran las partes fabricadas.



Fig. 88 chapas fabricadas por corte laser, doblado, pintadas en ral 1003 y llave AZM150

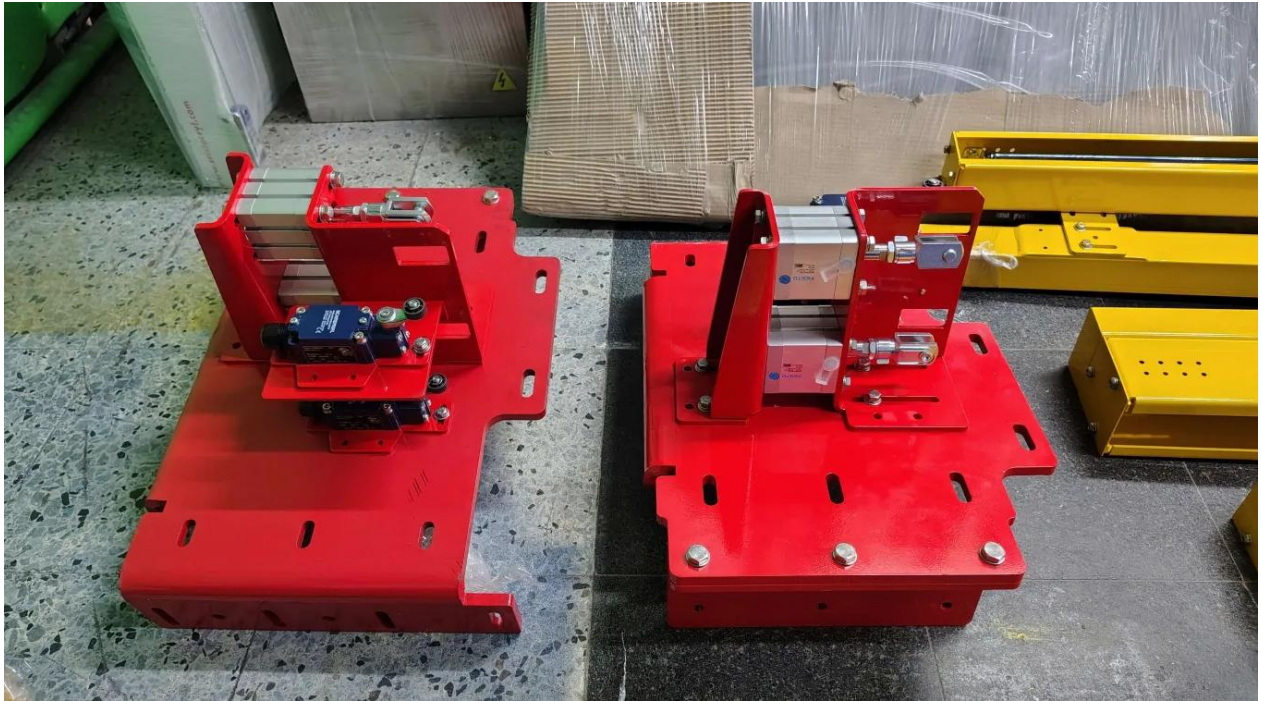


Fig. 89 Soporte de los pistones anticaídas, fabricado por corte laser, doblado y pintado en ral 3020



Fig. 90 Soporte para tablero en acero inoxidable



Fig. 91 Cremalleras anticaídas y partes fabricadas por corte laser

10. Resultados diseño de seguridad de depaletizadora

El diseño fue desarrollado con el objetivo de facilitar los procesos de manufactura e instalación, utilizando principalmente piezas fabricadas por corte láser y doblado de lámina, complementadas con componentes mecanizados para asegurar un ajuste preciso. Durante la etapa de fabricación se seleccionaron materiales como acero HR y acero inoxidable, de acuerdo con los requerimientos mecánicos y las condiciones del entorno de trabajo. Una vez fabricadas, todas las piezas en acero HR fueron pintadas con pintura electrostática, con el fin de protegerlas contra la corrosión y mantener una apariencia estética acorde con la máquina principal. El montaje del sistema se realizó conforme a los conceptos de diseño propuestos, garantizando una correcta alineación, fijación segura de los dispositivos de seguridad y el funcionamiento adecuado del conjunto. Desde la imagen Fig. 92 hasta la 110 se muestran fotos del montaje de los elementos fabricados.



Fig. 92 Montaje de dispositivos del acceso 1



Fig. 93 Llave AZM150 en acceso 1

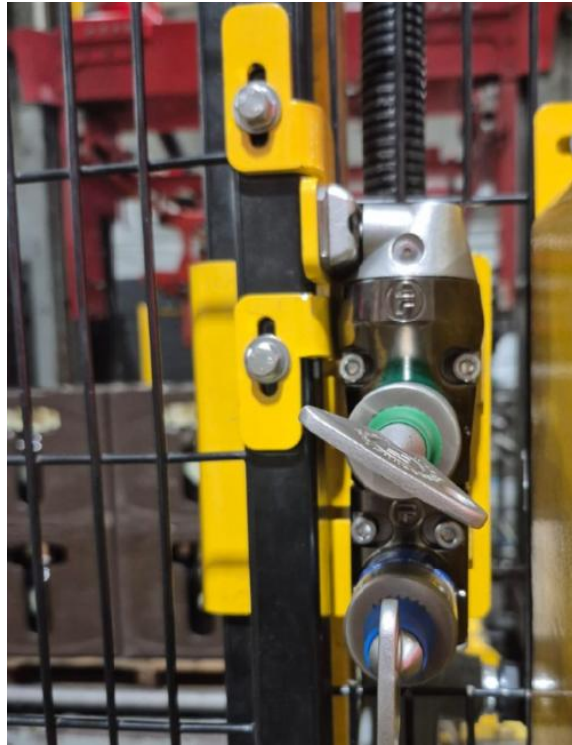


Fig. 94 Llave atrapada en acceso 1

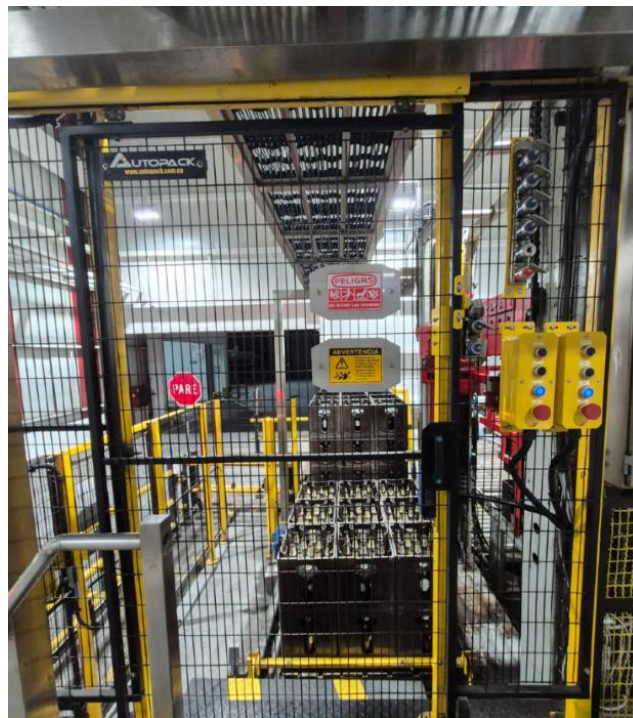


Fig. 95 Montaje de dispositivos del acceso 2



Fig. 96 Llave AZM150 acceso 2



Fig. 97 Llave atrapada acceso 2

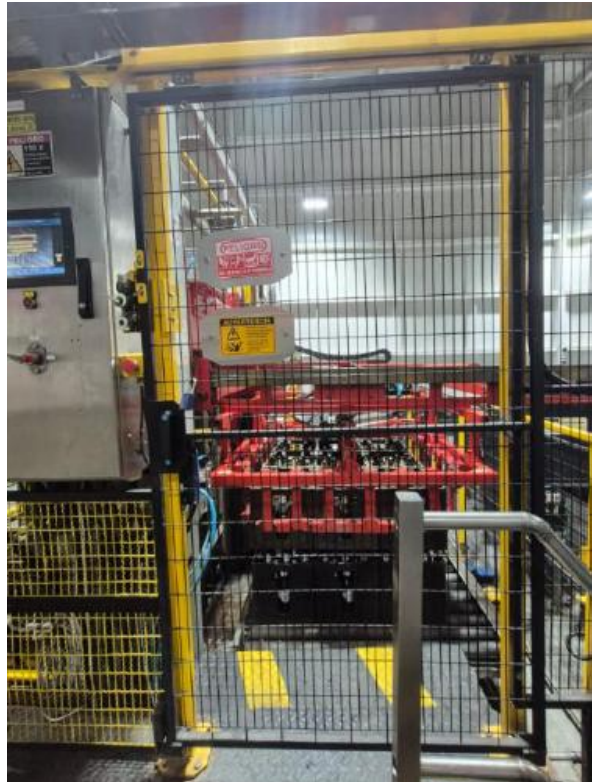


Fig. 98 Montaje de dispositivos del acceso 3



Fig. 99 Llave atrapada acceso 3



Fig. 100 Llave AZM150 acceso 3



Fig. 101 Montaje dispositivos del acceso 4



Fig. 102 Llave AZM150 acceso 4



Fig. 103 Llave atrapada del acceso 5

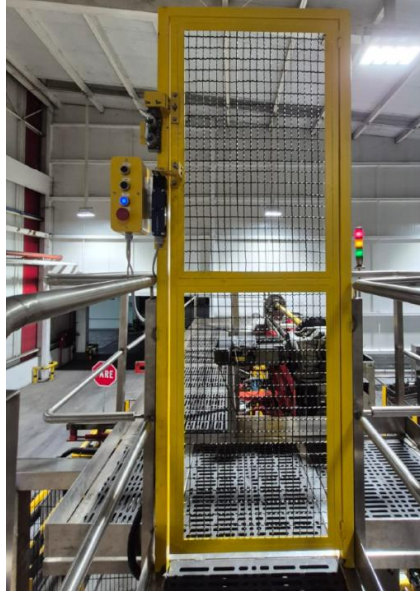


Fig. 104 Montaje de dispositivos en el acceso pivotante



Fig. 105 Montaje de botonera y módulo de llaves



Fig. 106 Llave atrapada en puerta pivotante



Fig. 107 Llave AZM150 en acceso pivotante



Fig. 108 Llave Maestra



Fig. 109 Robot depaletizador con sistema anticaidas montado



Fig. 110 Montaje de cremallera anticaidas y sistema anticaidas 1

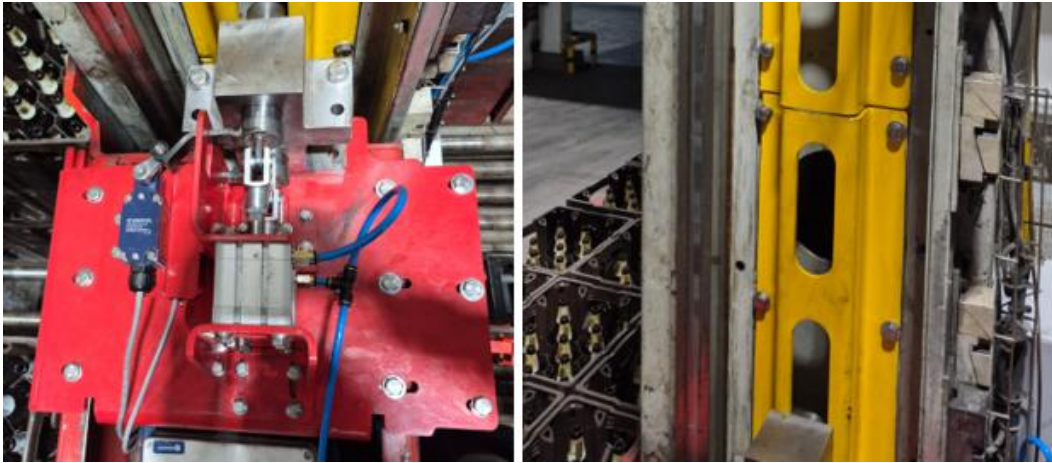


Fig. 111 Montaje de cremallera anticaídas y sistema anticaídas 2

El control del sistema de seguridad (Fig. 114) se implementó de forma descentralizada, mediante el uso de relés de seguridad Schmersal (Fig. 113) que supervisan de manera individual el estado de las llaves de seguridad y los pulsadores de parada de cada acceso, pulsador de rearme y pulsador de inicio. Cada relé se encarga de interrumpir directamente la alimentación de los actuadores asociados a su zona, garantizando una reacción rápida y localizada ante una condición de riesgo.

El uso de relés de seguridad es una opción adecuada porque estos dispositivos están diseñados específicamente para aplicaciones de seguridad funcional, a diferencia de los relés convencionales, que solo actúan como interruptores eléctricos. Los relés de seguridad incorporan contactos redundantes, monitoreo interno de fallos, detección de cortocircuitos y verificación de ciclos de encendido/apagado, asegurando que el sistema mantenga un estado seguro incluso ante una falla interna. Esta característica los hace confiables, fáciles de integrar y capaces de cumplir con los niveles de seguridad exigidos por las normativas, sin necesidad de utilizar un PLC de seguridad.

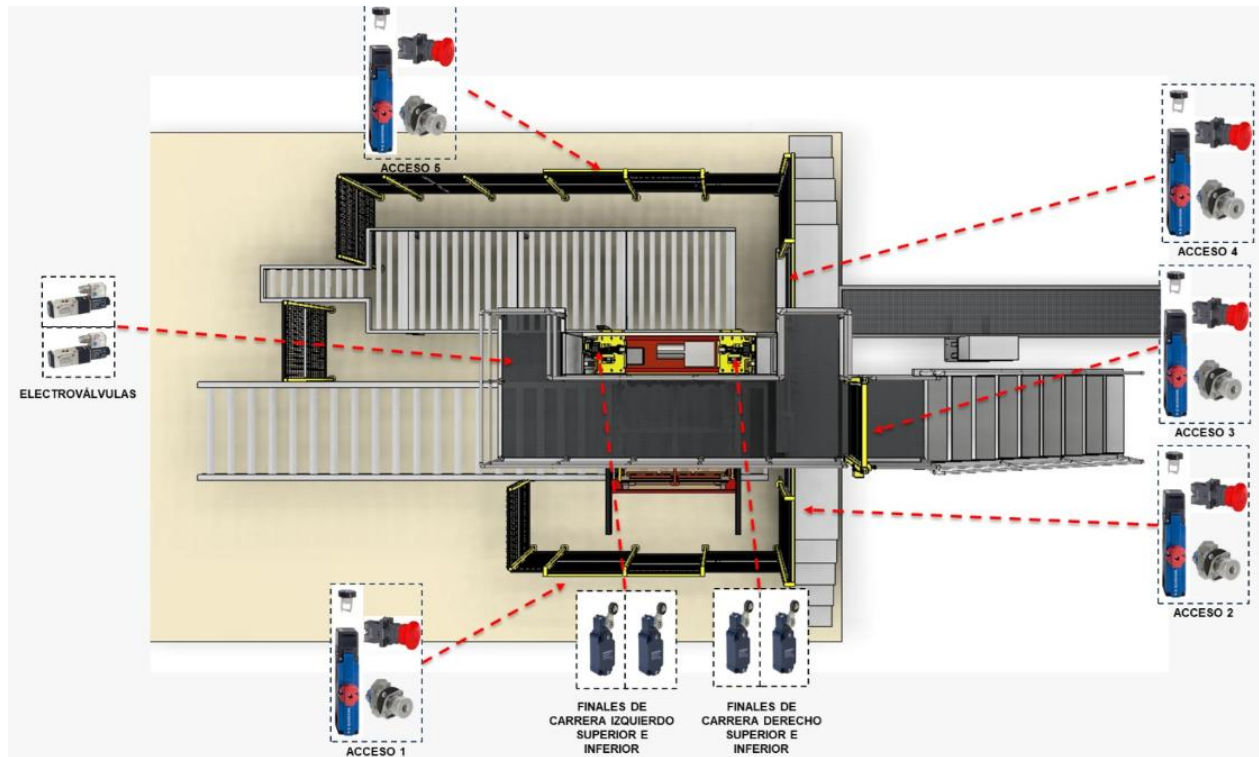


Fig. 112 Distribución de los dispositivos de seguridad



Fig. 113 Relé de seguridad Schmersal

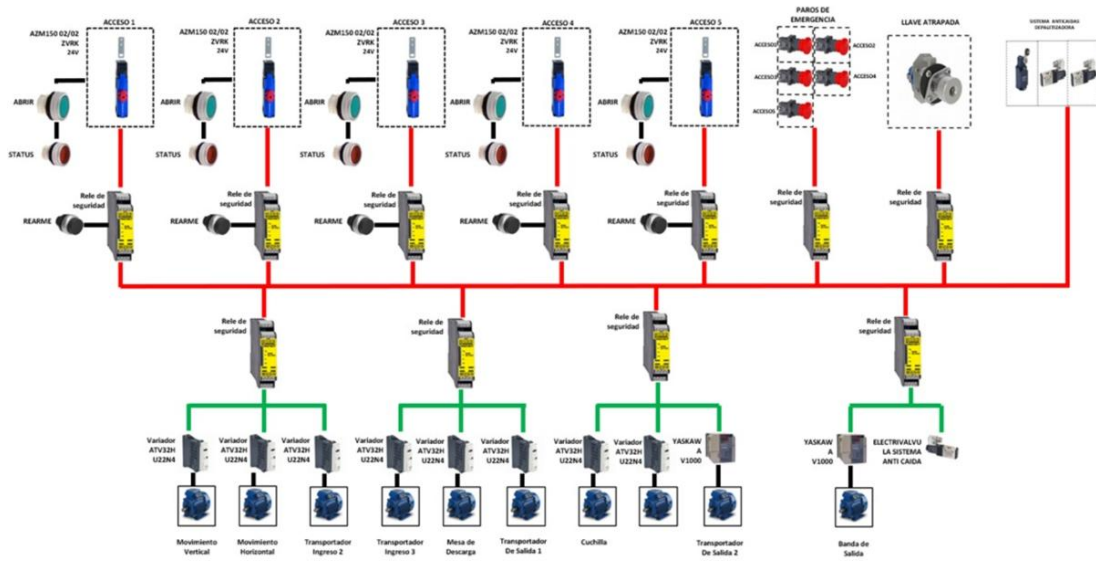


Fig. 114 Control de seguridad

11. Conclusiones

- Se logro diseñar e implementar adecuaciones en seguridad industrial que mejoran la protección de las celdas de paletizado, llenado y depaletizado. A través del modelado CAD y la integración de dispositivos Schmersal, se garantizó la correcta detección del estado de las puertas y el cumplimiento de los principios de enclavamiento seguro, fortaleciendo la confiabilidad del sistema.
- Durante el proceso se identificaron y evaluaron los peligros asociados a las operaciones de los robots y sus periféricos, aplicando los lineamientos de la norma ISO 12100. Esto permitió definir funciones de seguridad de acuerdo con los requerimientos de las normas ISO 13849-1 e IEC 62061, verificando que el nivel de rendimiento (PL) alcanzado fuera adecuado para el nivel de riesgo presente.
- Desde el punto de vista mecánico, se diseñaron y fabricaron estructuras de soporte, resguardos y cerramientos modulares que garantizan la efectividad física de las medidas de protección, conforme a la norma ISO 14120.
- Finalmente, el proyecto aportó un aprendizaje significativo en la aplicación de normativas de seguridad, la integración de componentes eléctricos y mecánicos, y la documentación técnica requerida para la implementación de soluciones industriales. Además, el seguimiento a la fabricación y montaje de las partes en planta permitió validar la viabilidad de las soluciones propuestas, abriendo la posibilidad de replicar esta metodología en futuras adecuaciones de seguridad dentro de la organización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] International Organization for Standardization, *ISO 12100:2010 — Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction*, Geneva, Switzerland, 2010.
- [2] International Organization for Standardization, *ISO 13849-1:2023 — Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design*, Geneva, Switzerland, 2023.
- [3] F. P. Beer and E. R. Johnston Jr., *Mechanics of Materials*, 7th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2014.
- [4] International Organization for Standardization, *ISO 13857:2019 — Safety of machinery — Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs*, Geneva, Switzerland, 2019.
- [5] International Organization for Standardization, *ISO 129-1:2018 — Technical product documentation — Indication of dimensions and tolerances — Part 1: General principles*, Geneva, Switzerland, 2018.
- [6] Schmersal Inc., “Practical safety solution for setup mode,” Technical Case Study, 2018. [Online]. Available: https://www.schmersalusa.com/fileadmin/content/usa/downloads/technical-articles/CaseStudy_PracticalSafetySolutionForSetupMode.pdf
- [7] Schmersal LATAM, “Cortinas y grades de luz de seguridad – SLC/SLG 440,” n.d. [Online]. Available: https://www.schmersal-latam.com/fileadmin/download/global/br/catalogos_es/cortinas-y-grades-de-luz-seguridad.pdf
- [8] Schmersal GmbH & Co. KG, “AZM300 – Solenoid interlock with individual code and bi-stable interlocking,” Technical Brief, n.d. [Online]. Available: https://www.schmersal.es/fileadmin/download/pdf/technical_information/EN/Tech_Brief-AZM300.pdf
- [9] Schmersal LATAM, “Interruptor de seguridad con bloqueo AZM 150,” n.d. [Online]. Available: <https://www.schmersal-latam.com/seguridad-industrial/interruptor-de-seguridad-con-bloqueo-azm-150>
- [10] Fortress Safety, “Understanding trapped key systems,” n.d. [Online]. Available: <https://fortress-safety.com/news/understanding-trapped-key-systems/>
- [11] Satech Safety Technology, “Modular perimeter guards Impactguard,” n.d. [Online]. Available: <https://www.satech.it/en/perimeter-guard-for-robots-impactguard/>