

Proyecto Fin de Máster  
Máster en Ingeniería Electrónica, Robótica y  
Automática

Implementación de los sistemas de seguridad  
funcional para una célula de fabricación flexible

Autor: Leonardo Antonio Solís Cordova

Tutor: Dr. Luis Fernando Castaño Castaño

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018





Proyecto Fin de Máster  
Máster en Ingeniería Electrónica, Robótica y Automática

# **Implementación de los sistemas de seguridad funcional para una célula de fabricación flexible**

Autor:

Leonardo Antonio Solís Córdova

Tutor:

Dr. Luis Fernando Castaño Castaño

Dep. de Ingeniería de Sistemas y Automática

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Proyecto Fin de Máster: Implementación de los sistemas de seguridad funcional para una célula de fabricación flexible

Autor: Leonardo Antonio Solís Córdova

Tutor: Luis Fernando Castaño Castaño

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal



*A mi familia, Mercedes, Miguel,  
Ruth y Álvaro.*



# Agradecimientos

---

Quisiera agradecer a todas aquellas personas que de una otra manera siempre me han estado a mi lado no solo en los buenos momentos; principalmente a mi madre y la señora de mi vida Mercedes, a mi padre Miguel que más que padre ha sido un amigo, y por su puesto a mi hermano Álvaro y mi hermanita que siempre será mi hermanita Ruth.

*Leonardo Antonio Solís Córdova*

*Sevilla, 2018*



En el presente trabajo se desarrolló un sistema de seguridad funcional para la célula de fabricación flexible instalada en el departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática (Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla), con el fin de dar cumplimiento de la normativa de la Directiva de Máquinas 2006/42/CE que entró en vigencia el 29 de diciembre del 2009 y que básicamente indica que toda máquina dentro de la Unión Europea (UE) debe garantizar un nivel mínimo de seguridad para la propia máquina y para todos los usuarios que intervenga en las etapas de: diseño/fabricación, instalación, ajuste/funcionamiento y mantenimiento en la vida útil de la máquina.

Una célula de fabricación flexible está compuesta por diferentes puestos de trabajo que pueden trabajar de manera dependiente o en conjunto con los demás puestos, por tal razón se realizó el análisis de todos los posibles riesgos de manera individual. Una vez determinados los riesgos existentes se escogió los elementos, equipos y dispositivos para la reducción o en el mejor de los casos la eliminación de dichos riesgos.

La célula de fabricación flexible instalada en el departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática es utilizada como una plataforma de formación para el aprendizaje del alumnado y constantemente se llevan a cabo diversos trabajos para mejorar el funcionamiento de cada puesto de trabajo que la conforma. Actualmente la célula de fabricación flexible está formada por un circuito de cinco cintas o bandas transportadoras donde se depositan bandejas, las mismas que serán almacenadas o extraídas de un alimentador previsto sobre una de las cintas transportadoras. Un almacén robótico matricial es el encargado de servir pallets en las bandejas o de almacenar los pallets que previamente se colocaron sobre las bandejas.



# Abstract

---

In the present work, it was developed a functional safety system for the flexible manufacturing cell installed in the Systems and Automation Engineering department, in order to comply with the regulations of the Machinery Directive 2006/42 / CE that entered into force on December 29, 2009 and basically indicates that anything machine within the European Union (EU) must guarantee a minimum level of security for the machine itself and for all users involved in the stages of: design / manufacturing, installation, adjustment / operation and maintenance in the useful life of the machine.

A flexible manufacturing cell is composed of different work points that can work in a dependent manner or in conjunction with the other positions, for this reason the analysis of all possible risks was carried out individually. Once determined, the existing risks were chosen elements, equipment and devices for the reduction or at best, the elimination of such risks.

The flexible manufacturing cell installed in the Systems and Automation Engineering department was used as a platform for student learning and several works were constantly carried out to improve the functioning of each work point. Currently the flexible manufacturing cell is formed by a circuit of five conveyor belts where the trays are deposited, the same ones that are stored or extracted from a feeder are approved on the conveyor belts. A robotic matrix warehouse is in charge of serving pallets in the trays or storing the pallets that were previously placed on the pallets.

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xiv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xvi</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xvii</b>
<b>Notación</b>	<b>xx</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2 Célula de Fabricación Flexible</b>	<b>3</b>
2.1 Descripción de la célula instalada	3
2.1.1 Bandas Transportadoras	7
2.1.2 Almacén matricial ASRS de Eshed Robotic	8
2.1.3 Robot SCORBOT-ER 4u	9
2.1.4 Robot Sony SCARA	10
2.1.5 Alimentador de bandejas	10
2.1.6 Zona de clasificación	13
<b>3 Normativa</b>	<b>11</b>
3.1 <i>Evaluación de riesgos.</i>	14
3.1.1 Determinación de los límites y uso de la máquina	15
3.1.2 Identificación del riesgo	15
3.1.3 Estimación del riesgo	15
3.1.4 Evaluación del riesgo	16
3.2 <i>Reducción de riesgos</i>	16
3.3 <i>Establecimiento de los requisitos para las funciones de seguridad</i>	17
3.3.1 Asignación de un nivel de integridad de la seguridad (SIL)	17
3.3.2 Asignación de un nivel de prestaciones PL	20
3.3.3 ¿PL o SIL?	22
3.4 <i>Implementación de la seguridad funcional</i>	22
3.4.1 Categoría	24
3.4.2 Cobertura del diagnóstico (DC)	25
3.4.3 Tiempo medio hasta fallo peligroso (MTTFD)	25
3.4.4 Fallo por causa común (CCF)	26
3.5 <i>Verificación de la seguridad funcional</i>	26
3.6 <i>Resumen</i>	27
<b>4 Órganos de Accionamiento</b>	<b>29</b>
4.1 <i>Protección y medidas protectoras complementarias</i>	29
4.2 <i>Dispositivos de protección</i>	30
4.2.1 Interruptores de enclavamiento	30
4.2.2 Barreras inmateriales	31
4.2.3 Tapices de seguridad	31

4.2.4	Dispositivos accionados mediante enclavamientos por electroimán	32
4.2.5	Mandos bimanuales e interruptores de pedal	32
4.2.6	Mandos de validación	32
4.3	<i>Sistemas de control</i>	33
4.4	<i>Medidas protectoras complementarias</i>	33
<b>5</b>	<b>Sistemas de Seguridad para la Célula de Fabricación Flexible</b>	<b>35</b>
5.1	<i>Evaluación de riesgos en la célula de fabricación flexible</i>	35
5.1.1	Límites y funciones de la célula	35
5.1.2	Tareas de la célula de fabricación flexible	37
5.1.3	Evaluación de riesgos	37
5.1.4	Cálculo de riesgos presentes en la célula de fabricación flexible	45
5.1.5	Reducción de riesgos.	50
5.1.6	Establecimiento de requisitos de seguridad	55
5.1.7	Diseño de la seguridad funcional	63
<b>6</b>	<b>Conclusiones y Trabajos Futuros</b>	<b>72</b>
<b>7</b>	<b>Presupuesto de Materiales</b>	<b>73</b>
	<b>Bibliografía y Sitios Web de Consulta</b>	<b>75</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 2-1. Lista de entradas del PLC principal de Schneider M340.	4
Tabla 2-2. Lista de salidas del PLC principal de Schneider M340.	6
Tabla 2-3. Lista de sensores para el alimentador de bandejas.	12
Tabla 2-4. Lista de actuadores para el alimentador de bandejas.	12
Tabla 3-1. Principales normas de los tipos de normas A, B y C.	12
Tabla 3-2. Pasos para el desarrollo de seguridad funcional.	13
Tabla 3-3. Estimación para la gravedad del daño posible (Se).	18
Tabla 3-4. Estimación para frecuencia y duración de la exposición al peligro Fr.	19
Tabla 3-5. Estimación para la probabilidad de que se produzca una situación peligrosa (Pr).	19
Tabla 3-6. Estimación para la probabilidad de evitar el daño (Av).	20
Tabla 3-7. Asignación del nivel SIL.	20
Tabla 3-8. Categorías para los sistemas según EN ISO 13849-1.	24
Tabla 5-1. Detalle de los riesgos existentes y eliminados en la célula de fabricación flexible.	56
Tabla 7-1. Presupuesto de los materiales para la implementación de los sistemas de seguridad funcional para la célula de fabricación flexible.	73

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1-1. Etapas del ciclo de vida de una máquina.	1
Figura 2-1. Esquema general de la célula de fabricación flexible.	3
Figura 2-2. Almacén robótico matricial ASRS.	8
Figura 2-3. Esquema del almacén robótico matricial ASRS.	9
Figura 2-4. Robot SCORBOT-ER 4u con su dispensador de piezas para pallets.	9
Figura 2-5. Robot Sony SCARA.	10
Figura 2-6. Distribución de sensores y actuadores para el alimentador de bandejas.	13
Figura 2-7. Alimentador de bandejas de la célula de fabricación flexible.	13
Figura 3-1. Estructura para las normas europeas de seguridad para máquinas.	11
Figura 3-2. Riesgos típicos dentro del funcionamiento de una máquina.	14
Figura 3-3. Pasos definidos en una función de seguridad.	17
Figura 3-4. Esquema para determinar el riesgo relacionado con el peligro identificado.	18
Figura 3-5. Asignación de un nivel de prestaciones PL.	21
Figura 3-6. Equivalencia entre SIL y PL.	21
Figura 3-7. Subsistemas del sistema de control eléctrico relacionado con la seguridad (SRECS).	23
Figura 3-8. Bloques para las función de seguridad.	23
Figura 3-9. Relación entre categorías, la DC promedio y el MTTFD para cada canal y PL.	27
Figura 3-10. Diagrama de flujo del método de trabajo según la norma EN ISO 13849-1.	28
Figura 4-1. Eliminación de zonas cortantes usando medidas de diseño inherentemente seguras.	29
Figura 4-2. Ejemplos típicos de interruptores de enclavamiento.	30
Figura 4-3. Barrera inmaterial.	31
Figura 4-4. Tapiz de seguridad.	31
Figura 4-5. Mando bimanual e interruptor accionado por pedal.	32
Figura 4-6. Mandos de validación.	33
Figura 4-7. Tipos de dispositivos para sistemas de control.	33
Figura 4-8. Dispositivos de parada de emergencia.	34
Figura 5-1. Dimensiones de la célula de fabricación flexible desde la vista superior.	36
Figura 5-2. Riesgo de atrapamiento en las cintas transportadoras.	38
Figura 5-3. Riesgo eléctrico en el cuadro de control principal.	39
Figura 5-4. Riesgo de caída de objetos en las cintas transportadoras.	39
Figura 5-5. Riesgo de aire comprimido en las cintas transportadoras.	40
Figura 5-6. Riesgo de atrapamiento y/o aprisionamiento en el alimentador de bandejas.	41
Figura 5-7. Riesgo eléctrico en el cuadro de control del alimentador de bandejas.	41
Figura 5-8. Riesgo de aire comprimido en las instalaciones neumáticas del alimentador de bandejas.	42

Figura 5-9. Riesgo de golpes por parte del robot manipulador del almacén robotizado.	43
Figura 5-10. Riesgo eléctrico presente en los dispositivos eléctricos instalados en la Mesa 1.	43
Figura 5-11. Riesgo de golpes con el manipulador de pallets ubicado en la mesa de trabajo 1.	44
Figura 5-12. Riesgo de golpes en el área de trabajo del brazo robótico SCORBOT.	44
Figura 5-13. Riesgo eléctrico presente en los dispositivos eléctricos ubicados en la parte inferior del puesto de trabajo del brazo robótico SCORBOT.	45
Figura 5-14. Resguardo fijo para la parte superior de la estructura de aluminio del manipulador del puesto de trabajo de la mesa 1 para la reducción del riesgo por golpes.	51
Figura 5-15. Resguardo con 4 paneles de metacrilato en las partes laterales de la estructura de aluminio del manipulador del puesto de trabajo de la mesa 1 para la reducción del riesgo por golpes.	52
Figura 5-16. Pegatina de advertencia indicando el riesgo por caída de objetos.	53
Figura 5-17. Pegatina de advertencia indicando el riesgo de atrapamiento.	54
Figura 5-18. Pegatina de advertencia indicando el riesgo de golpes en la zona de trabajo de los manipuladores.	54
Figura 5-19. Pegatina de advertencia indicando el riesgo de electrocución para los diferentes cuadros de control de la célula de fabricación flexible.	55
Figura 5-20. Pegatina de advertencia indicando el riesgo por aire comprimido de la célula de fabricación flexible.	55
Figura 5-21. PL requerido para el riesgo de atrapamiento en los elevadores de las cintas transportadoras.	56
Figura 5-22. PL requerido para el riesgo de golpes por caída de objetos desde las cintas transportadoras.	57
Figura 5-23. PL requerido para el riesgo de atrapamiento o aprisionamiento entre el cilindro elevador y la estructura de aluminio del alimentador de bandejas.	57
Figura 5-24. PL requerido para el riesgo de golpes por parte del brazo robótico ubicado en medio de las dos estanterías del almacén robotizado.	58
Figura 5-25. PL requerido para el riesgo de golpes por parte del manipulador de pallets instalado en la mesa 1.	58
Figura 5-26. PL requerido para el riesgo de golpes por parte del brazo robótico SCORBOT.	59
Figura 5-27. Puestos de trabajo de la célula de fabricación flexible.	60
Figura 5-28. Diseño del perímetro de seguridad alrededor de la célula de fabricación flexible.	61
Figura 5-29. Zona para la instalación de contactos magnéticos en la una de las puerta laterales del almacén robotizado.	62
Figura 5-30. Zona para la instalación de barreras inmateriales a la salida del alimentador de bandejas.	63
Figura 5-31. Subsistemas para establecer una función de seguridad.	63
Figura 5-32. Función de seguridad para los tapices de seguridad.	64
Figura 5-33. Función de seguridad para los interruptores de seguridad.	65
Figura 5-34. Función de seguridad para los contactos magnéticos.	65
Figura 5-35. Función de seguridad para las setas de emergencia.	66
Figura 5-36. Esquema eléctrico para función de seguridad con los 15 tapices.	66
Figura 5-37. Ubicación del cuadro de seguridad dentro del esquema de la célula de fabricación flexible.	67
Figura 5-38. Cálculo del MTTFD de cada bloque para la función de seguridad con tapices de seguridad.	68
Figura 5-39. Cálculo del MTTFD de cada bloque para la función de seguridad con interruptores de seguridad.	69
Figura 5-40. Cálculo del MTTFD de cada bloque para la función de seguridad con contactos magnéticos.	

Figura 5-41. Cálculo del MTTFD de cada bloque para la función de seguridad con setas de emergencia. 70

Figura 5-42. Verificación de la seguridad funcional para la célula de fabricación flexible. 71

# Notación

---

PL	Nivel de prestaciones
PLr	Nivel de prestaciones requerido
MTTFD	Tiempo medio hasta fallo peligroso
$B_{10d}$	Número de ciclos hasta que el 10% de los componentes sufren un fallo peligroso
$T_{10d}$	Tiempo medio hasta que el 10% de los componentes sufren un fallo peligroso
CCF	Fallo de causa común
DC	Cobertura del diagnóstico
$PFH_D$	Probabilidad de fallo peligroso por hora
SRECS	Safely related electrical control systems
SIL	Nivel de integridad de seguridad
UE	Unión Europea
ABB	Acrónimo de Ase Brown Boveri, es una empresa multinacional.
VAC	Volatje de corriente alterna
VAC	Volatje de corriente continuo
mm	Milímetros
cm	Centímetros
Hz	Hertzios
PLC	Controlador lógico programable
CPU	Unidad central de procesamiento

# 1 INTRODUCCIÓN

Una célula de fabricación flexible se define como un conjunto de máquinas que pueden realizar un paso de un determinado proceso de fabricación mucho más grande o simplemente realizar un proceso particular; al ser flexible la célula es capaz de acomodarse fácilmente a procesos con diferentes productos. Las distintas máquinas de la célula trabajan en conjunto para llevar a cabo una tarea específica, disminuyendo principalmente los costos operativos y el tiempo de producción.

Las máquinas de las células de fabricación flexible son operadas por un control y procesan el mismo material o producto; donde el control de las tareas de los puestos de trabajo de mecanizado es gestionado por una unidad central de procesamiento (CPU) que usualmente es un PLC. El sistema de control se encarga del monitoreo de equipos, alarmas y de la administración de programas.

Como parte del aprendizaje e investigación, en los laboratorios del departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática (Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla) se encuentra una célula de fabricación flexible que permite la manipulación de diferentes puestos de trabajo, los mismos que se detallarán más adelante. La célula anteriormente mencionada presenta ciertos riesgos eléctricos, mecánicos y neumáticos que pueden afectar de manera significativa a la salud del profesor y del alumnado que estará en contacto con todos los dispositivos, equipos, estructuras, cables, robots, etc., dicho lo anterior, es imprescindible realizar un estudio para minimizar a un rango tolerable o eliminar a cada uno de los peligros que atenten contra el bienestar de las personas cuando uno o más puestos de trabajo de la célula se encuentren en funcionamiento.

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar los sistemas de seguridad funcional para la célula de fabricación flexible dando cumplimiento a la normativa impuesta por la Directiva de Máquinas 2006/42/CE que entró en vigencia el 29 de diciembre del 2009, la misma que indica que toda máquina dentro de la Unión Europea (UE) debe garantizar un nivel mínimo de seguridad para la propia máquina y para todos los usuarios que intervenga en las etapas de: diseño/fabricación, instalación, ajuste/funcionamiento y mantenimiento en la vida útil de la máquina.

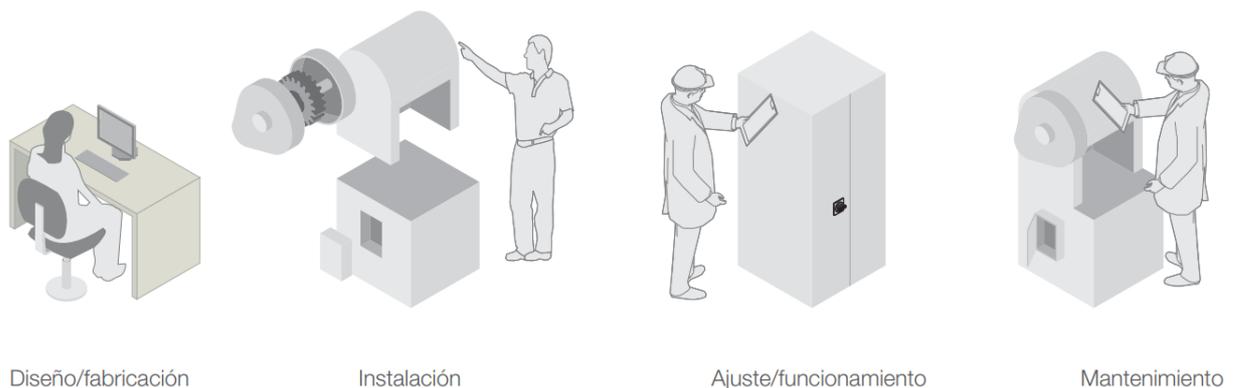


Figura 1-1. Etapas del ciclo de vida de una máquina.

Como primer paso se presenta una descripción de cada puesto de trabajo instalado como parte de la célula de fabricación flexible, para posteriormente identificar cada uno de los riesgos que pueden existir en su funcionamiento de manera individual o de manera colectiva con el resto de los puestos de trabajo, básicamente el objetivo es definir qué aspectos de la célula de fabricación flexible pueden causar algún daño de cualquier tipo a las personas que van a estar en contacto. Los principales riesgos a tener en cuenta son los atrapamientos, aplastamientos, cortes con herramientas, bordes afilados en la máquina o en el material que se procesa

teniendo en cuenta diversos factores que intervienen en la célula como, por ejemplo: la estabilidad de la célula, el ruido que produce, la vibración, la emisión de sustancias o radiaciones, superficies calientes que puedan producir quemaduras y la fricción al trabajar con altas velocidades.

Una vez identificados los riesgos que intervienen en el funcionamiento de la máquina se realiza un estudio detallado con el fin de optar por medidas que permitan eliminar o reducir a un nivel tolerable a cada uno de los riesgos existentes dentro de la vida útil previsible de la célula de fabricación flexible. Dentro de las medidas se debe elegir que elementos o dispositivos (sensores, relés, PLC, etc.) añadir a la célula para reducir o eliminar los riesgos existentes.



Tabla 2-1. Lista de entradas del PLC principal de Schneider M340.

<b>TIPO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>ENTRADA</b>	<b>PLC M340</b>
NO	ED_PRESOSTATO	Neumatic	%I0.1.0
NO	ED_PREVIO_DESVIO_1	Sensor SPD1	%I0.1.1
NO	ED_POSICION_DESVIO_1	Sensor SPos1	%I0.1.2
NO	ED_FIN_DESVIO_1	Sensor SFD1	%I0.1.3
NO	ED_PREVIO_DESVIO_2	Sensor SPD2	%I0.1.4
NC	ED_BARRA_DESVIO_2	Sensor SBarra2	%I0.1.5
NO	ED_PREVIO_DESVIO_3	Sensor SPD3	%I0.1.6
NO	ED_POSICION_DESVIO_3	Sensor SPos3	%I0.1.7
NO	ED_FIN_DESVIO_3	Sensor SFD3	%I0.1.8
NO	ED_PREVIO_DESVIO_4	Sensor SPD4	%I0.1.9
NC	ED_BARRA_DESVIO_4	Sensor Sbarra4	%I0.1.10
NO	ED_PREVIO_CRUCE	Sensor SPC	%I0.1.11
NO	ED_POSICION_ASR	Sensor SPASR	%I0.1.12
NC	ED_BARRA_CRUCE	Sensor SBarraC	%I0.1.13
NO	ED_POSICION_CRUCE	Sensor SPosC	%I0.1.14
NO	ED_POSICION_SONY1	Sensor SPosSony1	%I0.1.15
NO	ED_POSICION_SONY2	Sensor SPosSony2	%I0.1.16
NO	ED_POSICION_PUMA1	Sensor SPosPuma1	%I0.1.17
NO	ED_POSICION_PUMA2	Sensor SPosPuma2	%I0.1.18
NO	ED_POSICION_VENTOSA	Sensor SPVento	%I0.1.19
NO	ED_POSICION_AUX	Sensor SPAux	%I0.1.20
NO	ED_PULSADOR_VERDE	Pulsador	%I0.1.21
NO	ED_PULSADOR_AZUL	Pulsador	%I0.1.22
NC	ED_PULSADOR_PARADA	Pulsador	%I0.1.23
NC	ED_SEGURIDAD	Set + MagTerm	%I0.1.24
-	LECTOR CODIGO BARRAS B0	Verde	%I0.1.25
-	LECTOR CODIGO BARRAS B1	Marrón	%I0.1.26
-	LECTOR CODIGO BARRAS B2	Rosa	%I0.1.27
-	LECTOR CODIGO BARRAS B3	Azul	%I0.1.28
-	LECTOR CODIGO BARRAS RDY	Violeta	%I0.1.29

---

-	L		%I0.1.30
-	L		%I0.1.31
NO	ED_PORT_PinzaCerrada	Blanco-Gris	%I0.1.32
NO	ED_PORT_PinzaAbierta	Gris-Ros	%I0.1.33
NC	ED_PORT_HOME_H	Blanco-Rosa	%I0.1.34
NC	ED_PORT_HOME_V	Amarillo-Blanco	%I0.1.35
NO	ED_MESA_INDUCTIVO	Marrón	%I0.1.36
NO	ED_MESA_CAPACITIVO	Rosa	%I0.1.37
NO	ED_MESA_FC1_Medida	Verde	%I0.1.38
NO	ED_MESA_FC2_Medida	Azul	%I0.1.39
NO	ED_MESA_FOTOELECT	Marrón-Verde	%I0.1.40
NC	ED_MESA_HOME	Rosa-Azul	%I0.1.41
NO	ED_VENTOSA_FC1	Violeta	%I0.1.42
NO	ED_VENTOSA_FC2	Gris	%I0.1.43
NO	ED_VENTOSA_FC1_Cil_Giro	Blanco	%I0.1.44
NO	ED_VENTOSA_FC2_Cil_Giro	Negro	%I0.1.45
NO	ED_CINTA_BARRERA	Amarillo-Marrón	%I0.1.46
NO	ED_HOME_BANDEJA	Gris-Marrón	%I0.1.47
*	ED_AlarmaVariador		%I0.1.48
NO	ED_ALI_PIEZ1_HOME	Blanco	%I0.1.49
NC	ED_ALI_PIEZ1_FOTO	Negro	%I0.1.50
NO	ED_ALI_PIEZ2_HOME	Rosa	%I0.1.51
NC	ED_ALI_PIEZ2_FOTO	Azul	%I0.1.52
*	L		%I0.1.53
*	L		%I0.1.54
*	L		%I0.1.55
*	L		%I0.1.56
*	L		%I0.1.57
*	L		%I0.1.58
*	L		%I0.1.59
-	L		%I0.1.60
-	L		%I0.1.61
-	L		%I0.1.62
NO	ED_AlimentadorBandejas24V		%I0.1.63

Tabla 2-2. Lista de salidas del PLC principal de Schneider M340.

<b>TIPO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>SALIDA</b>	<b>PLC M340</b>
Relé1	SD_AIRE_COMPRIMIDO	VAL. GEN.	%Q0.2.0
Relé2	SD_RETENEDOR_DESVIO1	RetD1	%Q0.2.1
Relé3	SD_ELEVADOR_DESVIO1	ElevD1	%Q0.2.2
Relé4	SD_RETENEDOR_DESVIO2	RetD2	%Q0.2.3
Relé5	SD_ELEVADOR_DESVIO2	ElevD2	%Q0.2.4
Relé6	SD_RETENEDOR_DESVIO3	RetD3	%Q0.2.5
Relé7	SD_ELEVADOR_DESVIO3	ElevD3	%Q0.2.6
Relé8	SD_RETENEDOR_DESVIO4	RetD4	%Q0.2.7
Relé9	SD_ELEVADOR_DESVIO4	ElevD4	%Q0.2.8
Relé10	SD_RETENEDOR_CRUCE	RetDC	%Q0.2.9
Relé11	SD_ELEVADOR_CRUCE	ElevDC	%Q0.2.10
Relé12	SD_RETENEDOR_ASR	RetASR	%Q0.2.11
Relé13	SD_RETENEDOR_Sony	RetSony	%Q0.2.12
Relé14	SD_RETENEDOR_Puma	RetPuma	%Q0.2.13
Relé15	SD_RETENEDOR_VENTOSA	RetVento	%Q0.2.14
Relé16	L	-	%Q0.2.15
Relé17	SD_MORTOR_LINEA1	M1	%Q0.2.16
Relé18	SD_MORTOR_LINEA2	M2	%Q0.2.17
Relé19	SD_MORTOR_LINEA3	M3	%Q0.2.18
Relé20	SD_MORTOR_LINEA4	M4	%Q0.2.19
Relé21	L	-	%Q0.2.20
Relé22	L	-	%Q0.2.21
Relé23	SD_PILOTO_VERDE	Piloto	%Q0.2.22
Relé24	SD_PILOTO_ROJO	Piloto	%Q0.2.23
Relé25	SD_PILOTO_AZUL	Piloto	%Q0.2.24
Relé26	-	*	%Q0.2.25
Relé27	SD_VENTOSA_AvanceCinta	Amarillo	%Q0.2.26
Relé28	SD_VENTOSA_AvanceMesa	Verde	%Q0.2.27
Relé29	SD_VENTOSA_Cil_Giro	Gris	%Q0.2.28
Relé30	SD_VENTOSA_SUCC	Blanco	%Q0.2.29
Relé31	SD_PORT_Abrir/CerrarPinza	Negro	%Q0.2.30
Relé32	SD_MESA_Cil_Medida	Azul	%Q0.2.31
Relé33	SD_S1variador	Relé 1 Azul	%Q0.2.32
Relé34	SD_S2variador	Relé 2 Azul	%Q0.2.33
Relé35	SD_S3variador	Relé 3 Azul	%Q0.2.34
Relé36	SD_S4variador	Relé 4 Azul	%Q0.2.35

Relé37	SD_S5variador	Relé 5 Azul	%Q0.2.36
Relé38	L	-	%Q0.2.37
Relé39	L	-	%Q0.2.38
Relé40	L	-	%Q0.2.39
Relé41	R	-	%Q0.2.40
Relé42	R	-	%Q0.2.41
Relé43	L	-	%Q0.2.42
Relé44	L	-	%Q0.2.43
Relé45	L	-	%Q0.2.44
Relé46	L	-	%Q0.2.45
24V	SD_ALI_PIEZ1_PUL	Amarillo	%Q0.2.46
24V	SD_ALI_PIEZ1_DIR	Violeta	%Q0.2.47
24V	SD_ALI_PIEZ1_EN	Rosa	%Q0.2.48
24V	SD_ALI_PIEZ2_PUL	Gris	%Q0.2.49
24V	SD_ALI_PIEZ2_DIR	Marrón	%Q0.2.50
24V	SD_ALI_PIEZ2_EN	Verde	%Q0.2.51
24V	SD_PORT_PINZA_PUL	Gris-Marrón	%Q0.2.52
24V	SD_PORT_PINZA_DIR	Blanco-Gris	%Q0.2.53
24V	SD_PORT_PINZA_EN	Blanco-Amarillo	%Q0.2.54
24V	SD_PORT_CARRO_PUL	Rosa-Marrón	%Q0.2.55
24V	SD_PORT_CARRO_DIR	Blanco-Rosa	%Q0.2.56
24V	SD_PORT_CARRO_EN	Marrón-Verde	%Q0.2.57
24V	SD_CINTA_PUL	Verde	%Q0.2.58
24V	SD_CINTA_DIR	Amarillo	%Q0.2.59
24V	SD_CINTA_EN	Azul	%Q0.2.60
24V	SD_MESA_PUL	Rosa	%Q0.2.61
24V	SD_MESA_DIR	Marro	%Q0.2.62
24V	SD_MESA_EN	Rosa	%Q0.2.63

La célula de fabricación flexible al estar formada por varios puntos de trabajo aumenta el número de riesgos tanto eléctricos, mecánicos, neumáticos e hidráulicos que pueden atentar contra el bienestar de las personas que mantengan contacto con la célula.

A continuación, se describen brevemente los principales puestos de trabajo de la célula de fabricación flexible.

### 2.1.1 Bandas Transportadoras

El circuito compuesto con las cinco bandas transportadoras consiste en un arreglo donde cuatro de las bandas forman un circuito en forma de un rectángulo mientras que la banda sobrante está situada en forma perpendicular a la banda 1, formando una "T". Se debe mencionar que el circuito rectangular las bandas transportadoras tiene un sentido de marcha unidireccional, teniendo solo una forma de movilizar a los pallets

por los distintos puestos de trabajo; sin embargo, para la banda 5 que forma una “T” con la banda 1 el sentido de marcha de es bidireccional.

Un PLC de Schneider Electric modelo M340 es el encargado de controlar el movimiento de los motores de cada una de las cintas transportadoras del circuito mencionado anteriormente.

### 2.1.2 Almacén matricial ASRS de Eshed Robotic

El almacén robótico matricial ASRS de Eshed Robotic es el encargado de realizar básicamente dos funciones:

- Servir los pallets para las bandejas que los necesiten.
- Almacenar los pallets colocados sobre las bandejas.

El almacén dispone de un robot manipulador situado en el centro de las dos estanterías con 72 compartimientos, dicho robot tiene 4 grados de libertad (ejes X, Y, Z y un ángulo de giro denominado theta) para movilizarse a través de cada compartimiento y que mediante un sensor determina si tiene un pallet o no, el efector final el robot es una pinza neumática. El almacén es controlado mediante un Controlador-B usando un lenguaje Advanced Control Language (ACL, lenguaje de control avanzado), permitiendo de esta manera tener el control sobre las trayectorias punto a punto y multitarea.

EL controlador asociado al almacén robótico matricial tiene una comunicación serial con el autómata principal de la célula de fabricación flexible.

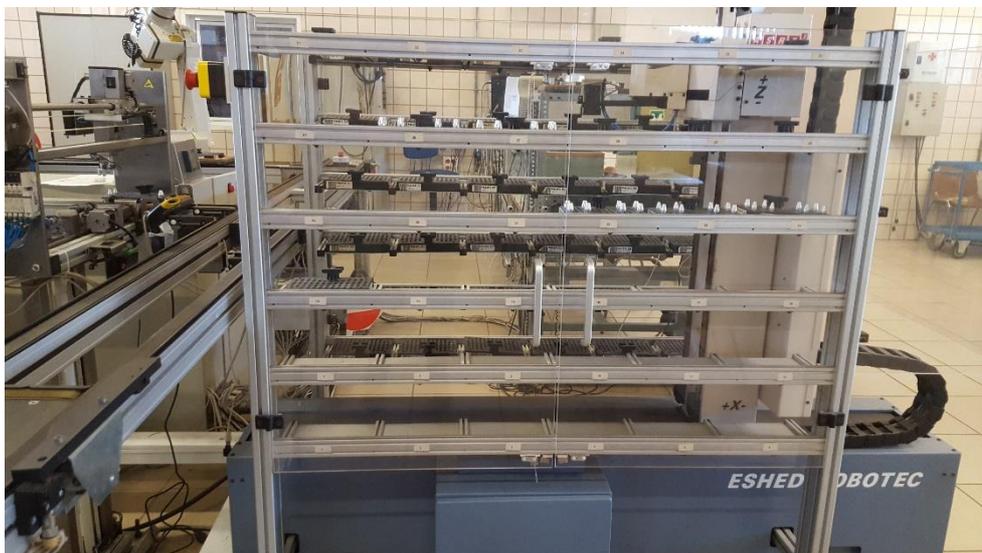


Figura 2-2. Almacén robótico matricial ASRS.

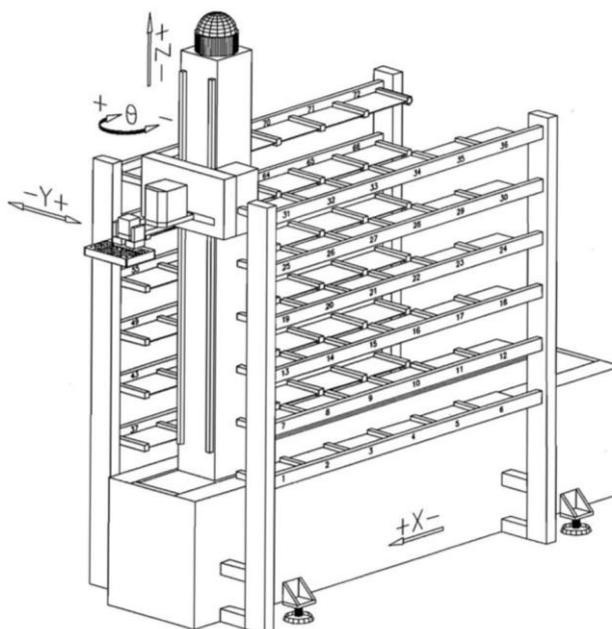


Figura 2-3. Esquema del almacén robótico matricial ASRS.

### 2.1.3 Robot SCORBOT-ER 4u

El robot SCORBOT-ER 4u dispone de cinco grados de libertad incluido la pinza del efector final, y es el encargado de manipular las piezas que están sobre los pallets. El controlador de este robot es un PLC de iguales características que el PCL principal y que además se encuentra ubicado en la parte inferior del punto de trabajo del robot. Los dos PCL de Schneider Electric M340 están comunicados a través del protocolo de Ethernet.

El SCORBOT está ubicado en la intersección de las bandas transportadoras 2 y 3 (véase Figura 2-1), y además posee un dispensador de piezas controlado por un motor paso a paso para almacenar o servir piezas a los pallets provenientes del circuito de bandas transportadoras. En la Figura 2-4 se puede observar al robot con su respectivo dispensador.



Figura 2-4. Robot SCORBOT-ER 4u con su dispensador de piezas para pallets.

### 2.1.4 Robot Sony SCARA

El robot Sony SCARA (Selective Compliant Articulated Robot Arm, brazo robótico articulado de respuesta selectiva) se encuentra en la banda transportadora 3 y contiguo al puesto de trabajo del SCORBOT-ER 4u. Actualmente este brazo se encuentra fuera de uso.



Figura 2-5. Robot Sony SCARA.

### 2.1.5 Alimentador de bandejas

El alimentador de bandejas se encuentra ubicado en la cinta 4, y es el responsable de gestionar bandejas vacías que se pueden apilar y que irá sirviendo o almacenando en función de la demanda de la instalación principal. De existir una pieza ilegal por encima de la bandeja el sistema en modo automático no permite el almacenamiento de la bandeja.

El sistema basa su funcionamiento en diferentes elementos, entre los principales tenemos:

**Elementos a transportar:** Consta de una bandeja, un pallet y de ser el caso una pieza ilegal. Se debe tener en cuenta que la bandeja tiene forma de un cuadrado y que dispone de unas placas de metal ubicadas estratégicamente para que puede ser detectada por los sensores inductivos, y de esta manera se puedan accionar correctamente los retenedores.

**Retenedores:** Una vez detectada las placas metálicas previstas en las bandejas, la función de los retenedores es permitir o no el paso de la bandeja a través de la cinta transportadora.

**Cilindro de elevación:** Es el encargado de elevar o bajar a la bandeja que se solicita almacenar o extraer del alimentador.

**Cilindro de Giro:** Una vez que el vástago del cilindro de elevación este extendido, la función del cilindro de giro es rotar a la bandejas o bandejas almacenadas. El giro depende de la solicitud de almacenar o extraer bandeja, las bandejas rotaran 45° en sentido horario o en sentido antihorario.

**Cinta Transportadora:** Básicamente es la encargada del movimiento de las bandejas.

Es importante mencionar que el sistema al tener actuadores de tipo neumático, además de las instalaciones eléctricas también es necesario de una instalación para el uso de presión de aire.

Desde el punto de vista de la formación el alimentador de bandejas puede ser una plataforma para:

1. Gestión de fallos.
2. Instalación de seguridad.
3. Cuadro de maniobras más completo.
4. Human Machine Interface (HMI).

Para el correcto funcionamiento del sistema de control del alimentador de bandejas es necesario el uso de sensores, actuadores, fuentes de alimentación y un autómatas programable con sus respectivos módulos de entradas y salidas. A continuación, se describe brevemente la función de cada uno de ellos.

- **Fuente de alimentación:** La alimentación principal del alimentador de bandejas corresponde a un voltaje alterno de 230VAC y a una frecuencia de 50Hz. Adicionalmente existe fuentes de voltaje de 24VDC para el sistema de control ya que las electroválvulas son activadas por dicho voltaje continuo.
- **CPU:** El responsable de procesar las señales de los diferentes sensores para determinar el comportamiento de los actuadores neumáticos es un PLC Modicon M340 de la empresa Telemecanique, el mismo que para su funcionamiento necesita el voltaje de la red, y que internamente dispone una fuente de 24VDC para interactuar con los sensores o actuadores.
- **Tarjetas de entrada y salida:** Son las tarjetas que están conectadas al PLC y que permiten la adquisición de las señales de los sensores, así como también controlar a los actuadores. Se dispone de dos de ellas: La primera es una DDI1602 que dispone de 16 entradas digitales y la segunda una DDM16022 que dispone de 8 entradas digitales y 8 salidas digitales. A estas dos tarjetas se conectarán los sensores y actuadores de la máquina.
- **Sensores:** Se dispone de un total de 11 sensores para el funcionamiento del alimentador de bandejas. Cada cilindro neumático dispone de 2 sensores magnéticos REED que funcionan como finales de carrera para indicar el posicionamiento del vástago dando como resultado 4 sensores magnéticos; los siguientes 4 sensores corresponde a los retenedores, dos sensores por retenedor. Se dispone también de dos sensores inductivos previstos junto a cada retenedor para el reconocimiento de las placas metálicas que se encuentran incluidas en cada bandeja, y finalmente se dispone de un sensor fotoeléctrico tipo barrera para determinar si existe o no una pieza ilegal con la bandeja.
- **Actuadores:** Básicamente se dispone de 4 principales actuadores neumáticos asociados a 6 electroválvulas. Se necesita también de un medidor de presión.
  - Dos retenedores (MetalWork: Compact StopperCylinder) los mismos que van acompañados por una electroválvula para su activación o desactivación.
  - Dos cilindros de doble efecto, uno de ellos es un cilindro de elevación para las bandejas (CAMOZZI 61M2P040A025) y el segundo es para el giro del sistema de guías de bandejas apiladas (CAMOZZI 24N2A20A050). Cada cilindro está acompañado por dos electroválvulas para su funcionamiento.

Las diferentes señales de los 11 sensores y 4 actuadores del sistema del alimentador de bandejas se muestran en la Tabla 2-3 y Tabla 2-4, adicionalmente en la Figura 2-6 se indica la distribución de los sensores y actuadores descritos anteriormente en las tablas.

Tabla 2-3. Lista de sensores para el alimentador de bandejas.

<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>NOMENCLATURA</b>
1	Sensor de Bandeja Previa	S1
2	Sensor de Bandeja Elevación	S2
3	Sensor Alto Retenedor Previo	S3
4	Sensor Bajo Retenedor Previo	S4
5	Sensor Alto Retenedor Elevación	S5
6	Sensor Bajo Retenedor Elevación	S6
7	Sensor Superior Cilindro Elevador	S7
8	Sensor Inferior Cilindro Elevador	S8
9	Sensor Superior Cilindro Giro	S9
10	Sensor Inferior Cilindro Giro	S10
11	Sensor de Barrido	S11

Tabla 2-4. Lista de actuadores para el alimentador de bandejas.

<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VÁLVULA ASOCIADA</b>
1	Retenedor de bandeja previa	V5
2	Retenedor de bandeja elevación	V6
3	Cilindro de elevación	V1, V2
4	Cilindro de giro	V3, V4

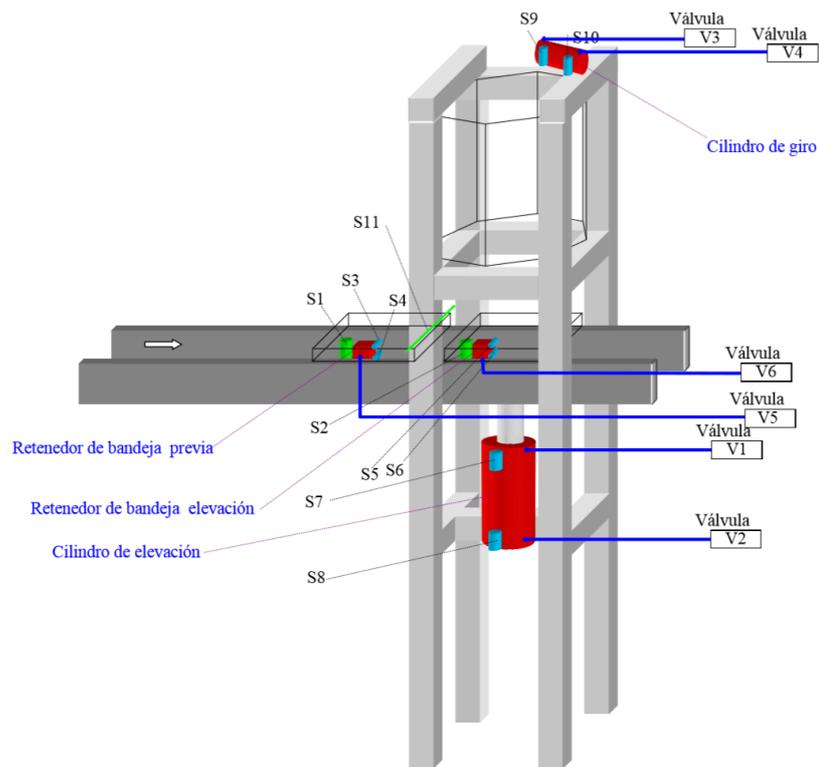


Figura 2-6. Distribución de sensores y actuadores para el alimentador de bandejas.



Figura 2-7. Alimentador de bandejas de la célula de fabricación flexible.

### 2.1.6 Zona de clasificación

Este puesto de trabajo consta de los siguientes subsistemas de trabajo:

- **Alimentador de piezas.** Es el encargado de la extracción o almacenaje de piezas mediante un motor paso a paso.
- **Pórtico.** Su función es desplazar las piezas entre el alimentador de bandejas con la banda transportadora de piezas o con la cinta 5.
- **Cinta transportadora de piezas.** Se encuentra ubicada entre la zona del pórtico y la mesa giratoria para la clasificación de piezas.
- **Mesa de clasificación.** Permite la clasificación de piezas mediante un conjunto de sensores situados estratégicamente en la mesa circular, al ser una mesa circular se puede girar mediante un motor paso a paso. Mediante los sensores se puede detectar el color, la medida de la pieza y el material de la pieza.

## 3 NORMATIVA

Para que una máquina o en este caso la célula de fabricación flexible con todos sus respectivos puestos de trabajo sean considerados como seguros, se realizará un análisis para la evaluación de los posibles riesgos que resultan de su funcionamiento. La evaluación y la reducción de los riesgos se encuentran bien detallados y de manera extensiva en el reglamento de EN ISO 14121-1.

Las normas vigentes dentro de la UE no indican un valor o puntuación para cada uno de los riesgos ni tampoco un valor máximo que no debe superarse, debido a que la puntuación que supuestamente se asignaría a cada riesgo depende de varias estimaciones que varían en función de la persona que realiza la evaluación. Las normas europeas de seguridad para máquinas se rigen a la siguiente estructura.

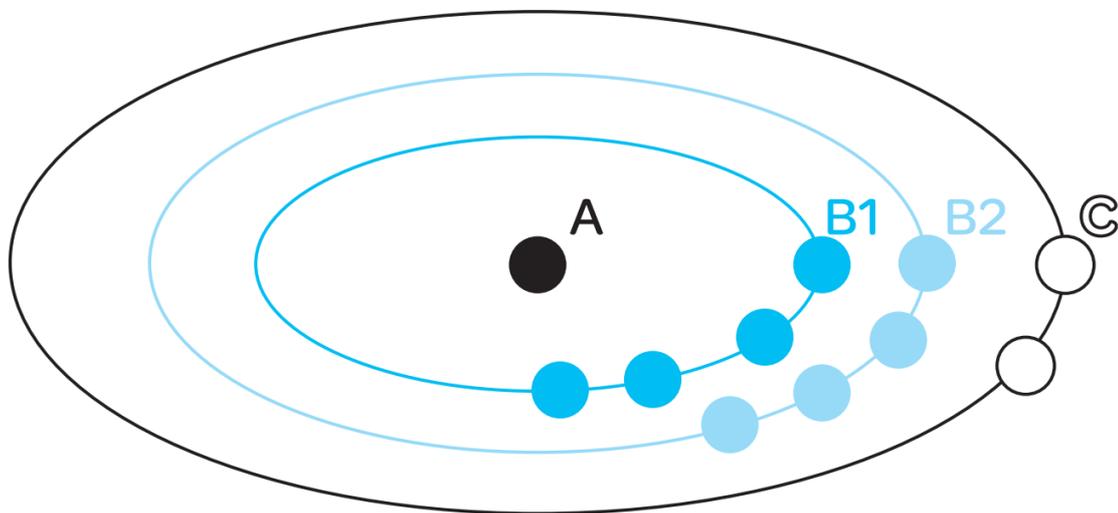


Figura 3-1. Estructura para las normas europeas de seguridad para máquinas.

Donde las normas de tipo A son las normas fundamentales de seguridad y aportan los conceptos básicos, los principios de diseño y los aspectos generales que se deben aplicar a cualquier tipo de máquina; por otro lado las normas de tipo B o también conocidas como normas de seguridad genéricas son las responsables de tratar sobre un aspecto de la seguridad o de algún tipo de dispositivo de seguridad que puede utilizarse en una amplia gama de máquinas, dentro de las normas tipo B existe dos subtipos:

- Normas tipo B1, se encargan de tratar los aspectos particulares de la seguridad dentro de la máquina, por ejemplo: distancias de seguridad, temperatura de superficies, ruido, etc.
- Normas tipo B2, tratan sobre los dispositivos encargados de la seguridad de la máquina; por ejemplo: dispositivos de enclavamiento, dispositivos de protección sensibles a presión, mando bimanual, protectores, etc.

Finalmente, las normas tipo C (normas de seguridad para máquinas) describen los requisitos específicos de seguridad para una máquina determinada. Las normas tipo C tienen prioridad sobre las tipo A y B.

Las principales normas tratadas dentro los tipos de normas A, B y C se detallan brevemente a continuación en

la Tabla 3-1.

Tabla 3-1. Principales normas de los tipos de normas A, B y C.

<b>NORMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
EN ISO 12100-1	A	Seguridad de las máquinas - Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 1: Terminología básica, metodología.
EN ISO 12100-2	A	Seguridad de las máquinas - Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 2: Principios técnicos.
EN ISO 14121-1	A	Seguridad de las máquinas – Evaluación de los riesgos. Parte 1: Principios.
EN 574	B	Dispositivos de mando a dos manos.
EN ISO 13850	B	Parada de emergencia – Principios de diseño.
EN IEC 62061	B	Seguridad funcional de sistemas de control electrónicos programables, electrónicos y eléctricos relativos a la seguridad.
EN ISO 13849-1	B	Seguridad de la máquina – Partes de los sistemas de mando relativos a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño.
EN 349	B	Distancias mínimas para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano.
EN SO 13857	B	Seguridad de la maquinaria – Distancias de seguridad para evitar que las extremidades inferiores y superiores lleguen a zonas de peligro.
EN IEC 60204-1	B	Seguridad de la maquinaria – Equipo eléctrico de máquinas – Parte 1: Requisitos generales.
EN 999 ISO 13855	B	Posicionamiento de los equipos de protección en función de las velocidades de aproximación de las partes del cuerpo humano.
EN 1088 ISO 14119	B	Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos – Principios de diseño y selección.
EN IEC 61496-1	B	Equipos de protección electrosensibles. Parte 1: Requisitos generales y ensayos.
EN IEC 60947-5-5	B	Aparatura de baja tensión. Parte 5-5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando – Aparato de parada de emergencia eléctrica con enclavamiento mecánico.
EN 842	B	Señales visuales de peligro – Requisitos generales, diseño y ensayos.
EN 1037	B	Prevención de una puesta de marcha intempestiva.
EN 953	B	Resguardos – Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles.
EN 201	C	Maquinaria de plásticos y caucho – Máquinas de moldeo por inyección – Requisitos de seguridad.

EN 692	C	Máquinas-Herramienta – Prensas mecánicas – Requisitos de seguridad.
EN 693	C	Máquinas-Herramienta – Prensas hidráulicas – Requisitos de seguridad.
EN 289	C	Maquinaria de plásticos y caucho – Seguridad – Máquinas de moldeo por soplado indicadas para la producción de artículos huecos – Requisitos de diseño y construcción.
EN 422	C	Máquinas de moldeo por soplado para la producción de piezas huecas – Requisitos de diseño y construcción.
EN ISO 10218-1	C	Robots para entornos industriales – Requisitos de seguridad. Parte 1: Robot.
EN 415-4	C	Seguridad de las máquinas de embalaje. Parte 4: paletizadoras y despaletizadoras.
EN 619	C	Equipos y sistemas de manipulación continua – Requisitos de seguridad y EMC para equipos de manipulación mecánica de cargas de unidad.
EN 620	C	Equipos y sistemas de manipulación continua – Requisitos de seguridad y EMC de cintas transportadoras fijas para material a granel.

Existe más de una forma o técnica para la evaluación de riesgos, y dado que su metodología depende de varios factores se puede afirmar que ninguna técnica es la correcta para identificar los riesgos. Con la ayuda de la normativa establecida podemos fijar los principios básicos de seguridad, teniendo una visión general al momento de identificar los riesgos dentro de la célula de fabricación flexible.

Teniendo en cuenta la normativa vigente para la implementación de sistemas de seguridad funcional, se pueden definir ciertos pasos o procedimientos para llevar a cabo la evaluación de riesgos para posteriormente determinar las medidas que permitan la reducción o eliminación de cada uno de los riesgos. La Tabla 3-2 muestra los pasos a seguir.

Tabla 3-2. Pasos para el desarrollo de seguridad funcional.

<b>PASO</b>	<b>TAREA</b>
PASO 1	Analizar riesgos y evaluar cómo eliminarlos o minimizarlos (estrategia en 3 pasos, véase en EN ISO 12100-1).
PASO 2	Definir la funcionalidad y la prestación de seguridad necesarias para eliminar el riesgo o reducirlo a un rango tolerable.
PASO 3	Diseñar y crear las funciones del sistema de seguridad.
PASO 4	Garantizar que el sistema de seguridad cumple los requisitos definidos.
PASO 5	Volver a la evaluación de riesgos para asegurarse de que el sistema de seguridad realmente sirve para reducir los riesgos como se espera.
PASO 6	Documentar el diseño y elaborar documentación para el usuario.
PASO 7	Demstrar la conformidad de la máquina con los EHSR de la Directiva de Máquinas mediante evaluaciones de conformidad y documentos técnicos.

Dependiendo de la complejidad de la seguridad funcional de la máquina se puede escoger entre las siguientes soluciones:

- Relés de seguridad: Para aplicaciones de pequeña escala.
- PLC de seguridad: Usado en aplicaciones de mayor complejidad con un número de entradas y salidas seguras. El sistema de seguridad queda al margen del resto de la solución de control.
- Soluciones en Red: Trabajan sobre redes como Profibus o DeviceNet. Son soluciones que comparten la misma red que el control pero que disponen de un controlador de seguridad y de módulos de entrada y salida de seguridad propios, debido a que no se pueden integrar en la misma cabecera que las entradas y salidas estándar.
- Otra solución consiste en integrar la seguridad de todas las máquinas y procesos sobre redes de Ethernet Industrial de control.

A continuación, se pretende describir y a su vez explicar de manera detallada pero no exhaustiva los pasos definidos para la implementación de sistemas de seguridad funcional mencionados en la Tabla 3-1.

### 3.1 Evaluación de riesgos.

Según la directiva de máquinas 2006/42/CE, toda máquina debe ser sometida a una evaluación de posibles riesgos que pueda presentar en el transcurso de su vida útil, y los resultados obtenidos deben ser tomados en cuenta al momento de diseñar dicha máquina. Se entiende por riesgo a la combinación de la probabilidad de que se produzca un daño y de sus consecuencias, teniendo una lista detallada de riesgos en EN ISO 14121-1.

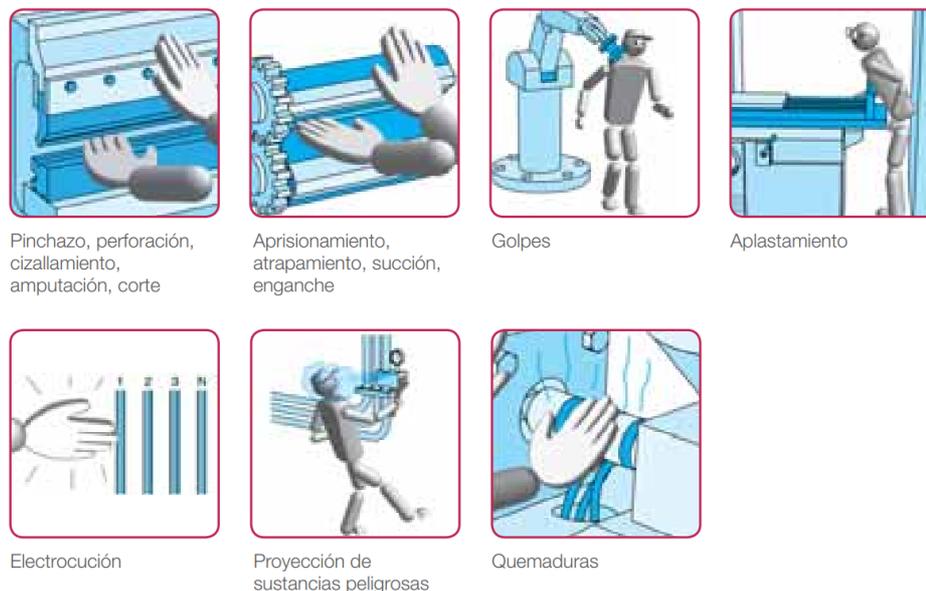


Figura 3-2. Riesgos típicos dentro del funcionamiento de una máquina.

Mediante el proceso de evaluación de riesgos, los diseñadores pueden implementar una máquina intrínsecamente segura, llevando a los riesgos mas elevados a un rango tolerable mediante cambios en el diseño o aplicando determinadas medidas de seguridad dentro del funcionamiento de la maquinaria.

Como se indico en la Tabla 3-1, la norma encargada de la seguridad de las máquinas, de los principios generales para el diseño y minimización del riesgo es la norma EN ISO 12100-1. Dentro de esta norma la evaluación de riesgos se divide en dos partes:

- **Análisis de riesgos:** Encargada de identificar y de estimar los posibles riesgos dentro de la máquina.
- **Valoración de riesgos:** Decide si el riesgo es aceptable o si es necesaria la aplicación de ciertas medidas para la reducción del riesgo a un rango torerable.

### 3.1.1 Determinación de los límites y uso de la máquina

Una evaluación de riesgos inicia determinando el alcance de la máquina, esto incluye el espacio físico que ocupa la máquina para desarrollar todas sus aplicaciones previstas y todas las etapas operativas durante el ciclo de vida completo de la máquina. En esta etapa se determinan los siguientes aspectos:

- **Límites de espacio**, por ejemplo, el espacio requerido para la mecanización por todos los ejes de una máquina herramienta. Dicho de otra manera, se necesitan describir las dimensiones ocupadas por una determinada máquina o parte de ella.
- **Tiempo de vida útil de la máquina**, tomándose en cuenta desde la fase de transporte, pasando por la operación hasta llegar a su reciclaje o desecho. Así, por ejemplo, por razones de seguridad, según la norma EN ISO 13849 un mando se debe reemplazar cada 20 años.
- **Límites externos**, se refieren a las condiciones de entorno y a las características de los materiales que se procesan en el funcionamiento de la máquina.

### 3.1.2 Identificación del riesgo

En esta etapa se realiza una identificación sistemática y ordenada de las fuentes que pueden producir algún tipo de riesgos previsibles en todas las fases de la vida útil de la máquina. Los riesgos se enumeran por separado, aunque sean del mismo tipo.

### 3.1.3 Estimación del riesgo

Se realiza una indicación del grado de riesgo para cada uno de los riesgos que se producen en los dispositivos, estructuras y elementos que intervienen en el funcionamiento de la máquina. Conforme con la norma ISO 13849-1 el riesgo se calcula mediante tres factores:

- 1) Gravedad del daño (G, gravedad).
- 2) Frecuencia de exposición al riesgo (F, frecuencia).
- 3) Posibilidad que tiene de evitar o limiatar el daño (P, posibilidad).

Cada uno de los factores anteriormente mencionados tiene dos opciones de operación, teniendo las siguientes:

- **G1:** Hematomas, abrasiones, heridas punzantes y lesiones leves por aplastamiento.
- **G2:** Lesiones esqueléticas, amputaciones y muerte.
- **F1:** Menos de una vez cada dos semanas.
- **F2:** Mas de una vez cada dos semanas.
- **P1:** Movimientos lentos de la máquina, mucho espacio, baja potencia.
- **P2:** Movimientos rápidos de la máquina, concurrido, alta potencia.

Al definir los factores G, F y P en cada uno de los riesgos indentificados, se puede obtener el correspondiente nivel de prestaciones requerido (PLr), el mismo que es necesario para la fuente que ocasiona el riesgo.

### 3.1.4 Evaluación del riesgo

Una vez que se hayan evaluado e identificado los elementos que por alguna razón puedan presentar algún tipo de riesgo en contra de la seguridad, se procede a evaluar si es necesario aplicar medidas para la reducción de cada uno de los riesgos identificados mediante el uso de medidas preventivas, dichas medidas deben conducir a la minimización suficiente del riesgo.

Para la minimización del riesgo se debe tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- 1) Se han considerado todas las condiciones de servicio y las interacciones con el usuario.
- 2) En la medida de lo posible, los riesgos se han minimizado o eliminado.
- 3) Se han considerado nuevos riesgos resultantes de las medidas tomadas en los pasos anteriores.
- 4) Los usuarios serán informados de manera adecuada sobre los riesgos restantes.
- 5) Las medidas preventivas tomadas son compatibles.
- 6) La facilidad de manejo no ha sido afectada.

Finalmente, la evaluación de riesgos incluye una valoración de riesgos en la que se determina individualmente si cada riesgo esta dentro de un rango tolerable garantizando una seguridad suficiente o si se deben optar por medidas para su reducción o eliminación.

## 3.2 Reducción de riesgos

La reducción de riesgos se incluye en la norma EN ISO 12100-2, y tiene por objetivo eliminar cualquier riesgo mediante determinadas medidas adoptadas a lo largo de la vida útil de la máquina, incluidas las etapas de: transporte, montaje, desmontaje, desactivación y desmontaje. En general si se puede reducir un riesgo, deberá deducirse.

El proceso para la evaluación de los riesgos es un procedimiento interactivo, es decir, cada riesgo debe indentificarse, asignarle una prioridad, cuantificarse, diseñar medidas para reducirlo y una vez terminado este

proceso se debe repetir para evaluar si los riesgos residuales están dentro de un rango aceptable. Es posible que al optar por medidas para la reducción de riesgos se adicione nuevos riesgos.

Es evidente que la forma más adecuada para eliminar los riesgos se la realiza en la etapa de diseño de la máquina, un claro ejemplo es cambiar el diseño de la máquina o el proceso de operación de esta. La norma EN ISO 12100-1 divide a este método en tres pasos:

- 1) **Medidas de diseño intrínsecamente seguras.** Creación de un diseño más seguro o cambio de proceso, por ejemplo: reducción de la potencia, evitar interferencias en las zonas de peligro, etc.
- 2) **Medidas de protección y salvaguardas complementarias.** Utilización de dispositivos de protección y/o seguridad, por ejemplo: cerramientos, cortinas fotoeléctricas o dispositivos de mando.
- 3) **Información para el uso.** Informar sobre cómo puede utilizarse la máquina correctamente para que este dentro de los parámetros de seguridad.

### 3.3 Establecimiento de los requisitos para las funciones de seguridad

Se establece que una determinada función de seguridad es una medida “ACTIVA” que se toma para minimizar la probabilidad de que ocurra un evento indeseado y por ende exista una exposición al riesgos para los usuarios que intervengan en funcionamiento de la máquina. Una función de seguridad implica la actuación de tres pasos:

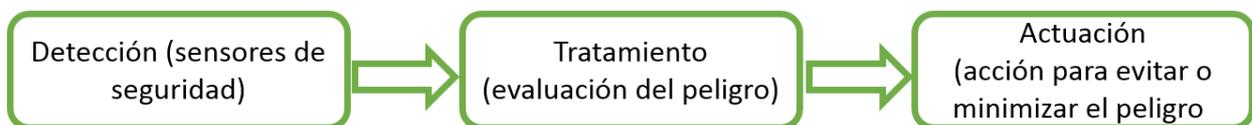


Figura 3-3. Pasos definidos en una función de seguridad.

Si una determinada función de seguridad falla puede maximizar de forma inmediata el riesgo o peligro producido en el funcionamiento de la máquina. La función de seguridad no pertenece de forma directa al funcionamiento de la máquina; es decir, si la función de seguridad falla, la máquina puede seguir normalmente con sus tareas de operación específicas, pero con un riesgo de lesión asociado mayor.

El nivel de fiabilidad de la función se basa en dos factores: SIL (nivel de integridad de la seguridad, EN 62061) y por el PL (nivel de prestaciones, ISO 13849-1). Para el cálculo del SIL o del PL se ocupan técnicas de valoración diferentes para la función de seguridad; sin embargo, sus resultados son equivalentes ya que los términos y definiciones son similares para cada uno.

#### 3.3.1 Asignación de un nivel de integridad de la seguridad (SIL)

En función de la evaluación de riesgos realizada en las etapas anteriores según la norma EN ISO 14121-1, se procede a realizar un cálculo estimado del nivel de SIL necesario para cada función de seguridad de control relacionada con la seguridad (SRCF). Los parámetros que intervienen en este proceso se muestran a continuación en la Figura 3-4.

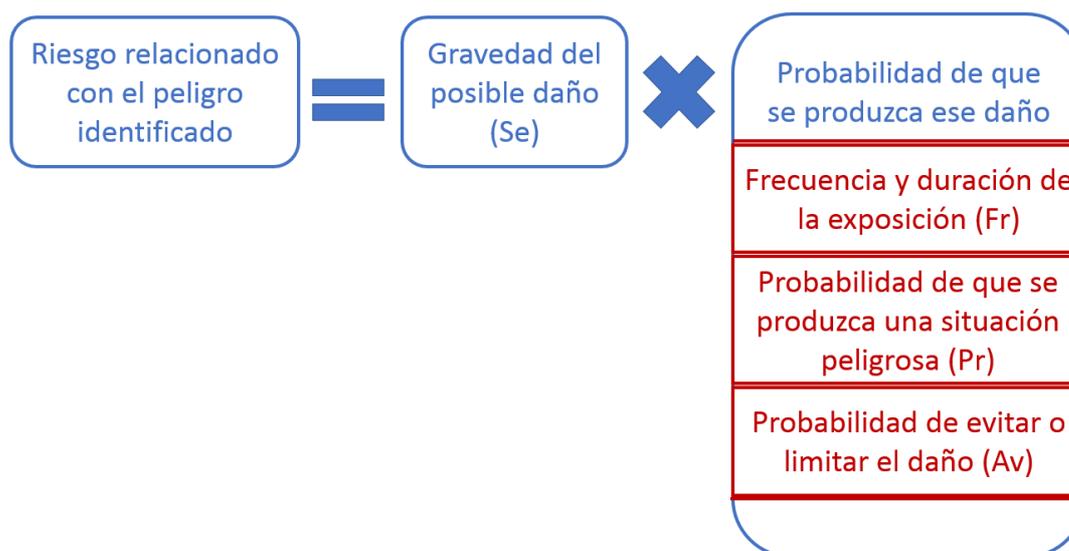


Figura 3-4. Esquema para determinar el riesgo relacionado con el peligro identificado.

### 3.3.1.1 Gravedad Se

Para la estimación del cálculo de la gravedad del daño posible (Se) se considera la gravedad de las lesiones o del daño en la salud de la persona o personas afectadas. El cálculo se puede estimar teniendo en cuenta si las posibles lesiones son reversibles, irreversibles o pueden causar la muerte.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación recomendada:

Tabla 3-3. Estimación para la gravedad del daño posible (Se).

CONSECUENCIAS	GRAVEDAD (SE)
Irreversible: muerte, pérdida de un ojo o un brazo.	4
2 Irreversible: extremidad(es) rota(s), pérdida de dedo(s).	3
Reversible: necesidad de asistencia médica.	2
Reversible: necesidad de primeros auxilios.	1

### 3.3.1.2 Probabilidad de que se produzca el daño

La probabilidad de que se produzca el daño consta de tres factores y cada uno de ellos se debe estimar de manera individual usando el caso menos favorable. Es recomendable emplear un análisis de tareas para garantizar que la estimación de la probabilidad de que se produzca el daño se tiene en cuenta de una manera adecuada.

Los tres factores que intervienen son: frecuencia y duración de la exposición (Fr), probabilidad de que se produzca una situación peligrosa (Pr) y la probabilidad de evitar o limitar el daño (Av).

### 3.3.1.3 Frecuencia y duración de la exposición (Fr)

El nivel de la exposición está directamente relacionado con la necesidad de acceder a la zona donde puede

puede existir un determinado peligro (funcionamiento normal, mantenimiento, limpieza, etc.) y del tipo de acceso (alimentación manual, ajuste, etc.). Una vez realizado en proceso anterior se procede a estimar la frecuencia media, así como también la duración de la exposición. La Tabla 3-4 detalla la clasificación recomendada para su estimación.

Tabla 3-4. Estimación para frecuencia y duración de la exposición al peligro Fr.

<b>FRECUENCIA DE EXPOSICIÓN</b>	<b>DURACION &gt; 10 MIN</b>
Fr < 1h	5
1h < Fr < 1 día	5
1 día < Fr < 2 semanas	4
2 semanas < Fr < 1 año	3
Fr > 1 año	2

#### 3.3.1.4 Probabilidad de que se produzca una situación peligrosa (Pr)

Para su estimación existen dos factores importantes:

- La capacidad de previsibilidad de las situaciones que puedan causar aun tipo de peligro en un determinada parte o dispositivo de la máquina en todos sus modos de funcionamiento (normal, mantenimiento, solución de problemas), prestando especial atención a los reinicios inesperados.
- El comportamiento de las personas que interactúan con la máquina, teniendo en cuenta los factores de: estrés, cansancio, inexperiencia, etc., que pueden afectarlas.

La Tabla 3-5 muestra un resumen para el calculo de la probabilidad de que se produzca una situación peligrosa.

Tabla 3-5. Estimación para la probabilidad de que se produzca una situación peligrosa (Pr).

<b>PROBABILIDAD DE QUE SE PRODUZCA</b>	<b>PROBABILIDAD (Pr)</b>
Muy alta	5
Probable	4
Posible	3
Raramente	2
Insignificante	1

#### 3.3.1.5 Probabilidad de evitar el daño (Av)

La probabilidad de evitar un daño en específico esta relacionado con el diseño de la máquina, teniendo en cuenta lo repentamente que pueda ocurrir una situación de peligro, la naturaleza del peligro (corte,

temperatura, eléctrico, neumático, hidráulico), la posibilidad física de evitar el peligro y finalmente la posibilidad de que una persona identifique una determinada situación peligrosa. La estimación para el Av se basa en los parámetros presentes en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6. Estimación para la probabilidad de evitar el daño (Av).

#### PROBABILIDAD DE EVITAR O LIMITAR EL DAÑO (AV)

Imposible	5
Raramente	3
Probable	1

#### 3.3.1.6 Asignación de SIL

Con los valores de 1 a 5 obtenidos en el cálculo de la estimación para los parámetros de frecuencia y duración de la exposición (Fr), la probabilidad de que se produzca una situación peligrosa (Pr) y la probabilidad de evitar o limitar el daño (Av), se procede a sumar todos los valores y encontrar una clase ( $CI = Fr + Pr + Av$ ).

Los parámetros CI y Se son ubicados dentro de la Tabla 3-7, obteniendo así el nivel de SIL.

Tabla 3-7. Asignación del nivel SIL.

GRAVEDAD (Se)	CLASE (CI)				
	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
3		(OM)	SIL 1	SIL 2	SIL 3
2			(OM)	SIL 1	SIL 2
1				(OM)	SIL 1

Se puede concluir que existen cuatro posibles niveles de SIL que van del 1 al 3, donde el SIL 3 corresponde al nivel más alto de integridad de la seguridad mientras que el SIL 1 al más bajo.

#### 3.3.2 Asignación de un nivel de prestaciones PL

PL es una medida de fiabilidad de una función de seguridad; la norma EN ISO 13849-1 establece cómo determinar el nivel de prestaciones requerido (PLr) y a su vez como verificar el PL alcanzado en el sistema. Para el cálculo del PL de una función de seguridad lo recomendable es dividirlo en bloques independientes y bien definidos (también llamados subsistemas).

Una vez identificadas las funciones de seguridad en la máquina se debe definir un PLr (nivel de prestaciones requerido) para cada una de las funciones con el fin de implementar una posible solución o soluciones para

cada función de seguridad por separado. Con el diseño terminado, se puede calcular la estimación del PL que alcanza la función de seguridad, teniendo en cuenta que el PL calculado tiene que ser por lo menos tan elevado como el PLr y valide el sistema según el plan de validación. La validación comprueba si la especificación del sistema se lleva a cabo correctamente y que además el diseño cumple con todas las especificaciones requeridas. Para el cálculo de riesgos se utiliza la información indicada en la Figura 3-5.

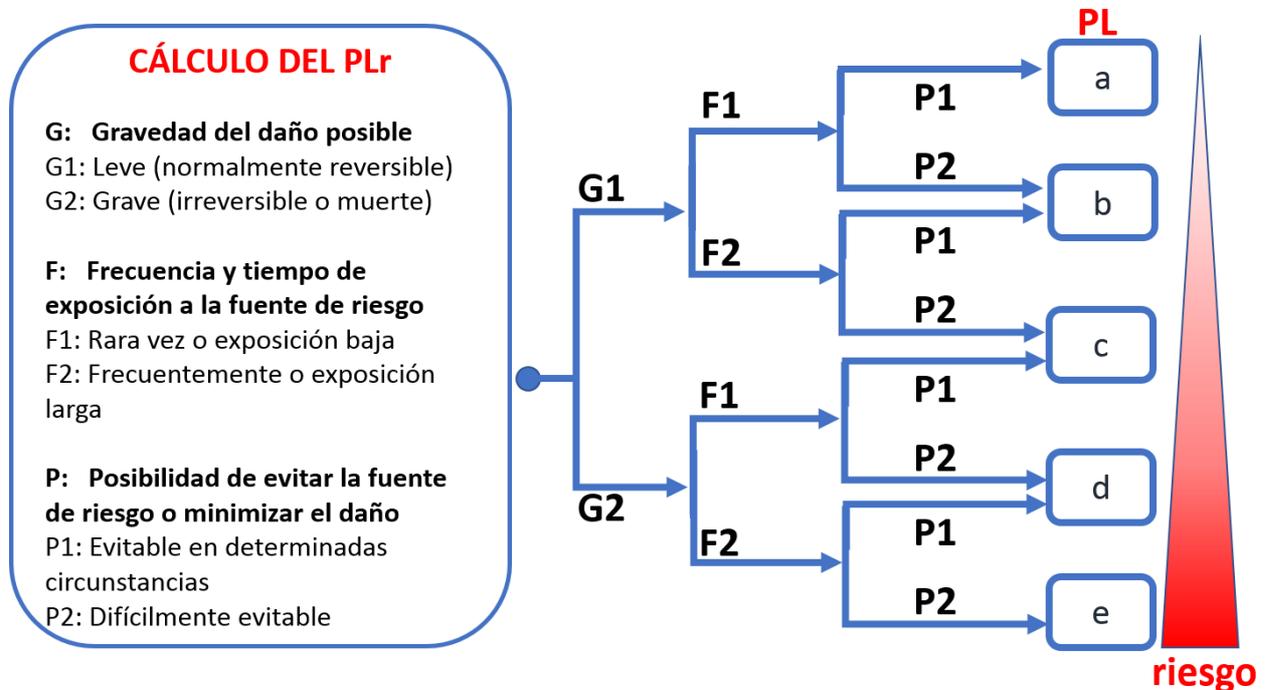


Figura 3-5. Asignación de un nivel de prestaciones PL.

Existen cinco posibles niveles para la asignación del PL (a, b, c, d y e), donde el nivel “e” representa la mayor fiabilidad de seguridad mientras que el “a” representa a la menor.

Los resultados obtenidos mediante la estimación del SIL y del PL, se pueden relacionar como se indica a continuación:

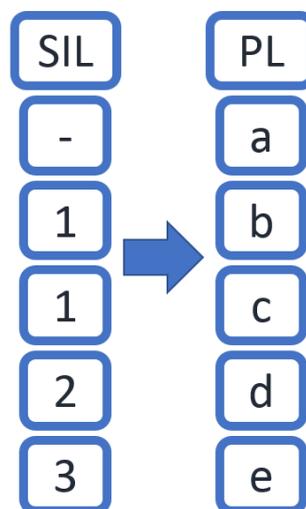


Figura 3-6. Equivalencia entre SIL y PL.

### 3.3.3 ¿PL o SIL?

La norma que se debe utilizar depende de la elección de tecnología, de la experiencia y sobre todo de los requisitos solicitados por el cliente.

El PL (nivel de prestaciones) es un concepto neutro en cuanto a tecnología que puede utilizarse en soluciones de seguridad eléctricas, mecánicas, neumáticas e hidráulicas; mientras que el SIL (nivel de integridad de seguridad) sólo puede aplicarse en soluciones de seguridad eléctricas, electrónicas o programables.

## 3.4 Implementación de la seguridad funcional

Para proyectar una función de seguridad, el diseño debe cumplir el SIL o el PL requerido que se estimó en las secciones anteriores. El uso de subsistemas certificados al fabricar sistemas de seguridad funcional puede ahorrar mucho trabajo a los diseñadores a la hora de la creación de los sistemas; por ejemplo, la implementación de funciones de seguridad resulta más conveniente una vez que se han realizado ciertos cálculos de seguridad y fiabilidad y los subsistemas están certificados.

Los pasos generales para la implementación de un sistema de seguridad funcional son:

- 1) Definir los requisitos de seguridad como SIL o PL conforme a la norma EN 62061 o a la norma EN ISO 13849-1, se tiene que trabajar solo con una norma y no deberían mezclarse para la misma máquina.
- 2) Seleccionar la arquitectura del sistema de seguridad que va a utilizarse. Las normas EN ISO 13849-1 y EN 62061 ofrecen arquitecturas básicas con fórmulas de cálculo.
- 3) Determinar la arquitectura según la categoría B, 1, 2, 3, ó 4 de acuerdo con la clasificación de la norma EN ISO 13849-1, o a la arquitectura de acuerdo con la norma EN 62061. Esto debe hacerse tanto para los subsistemas como para el sistema en su conjunto.

Como se estableció anteriormente, al calcular el PL para una función de seguridad lo más recomendable es dividirlo en bloques independientes y muy definidos. Con frecuencia se realiza una descomposición en subsistemas de entrada, la lógica y la salida que pueden ser, por ejemplo, interruptor - relé de seguridad – contactores.

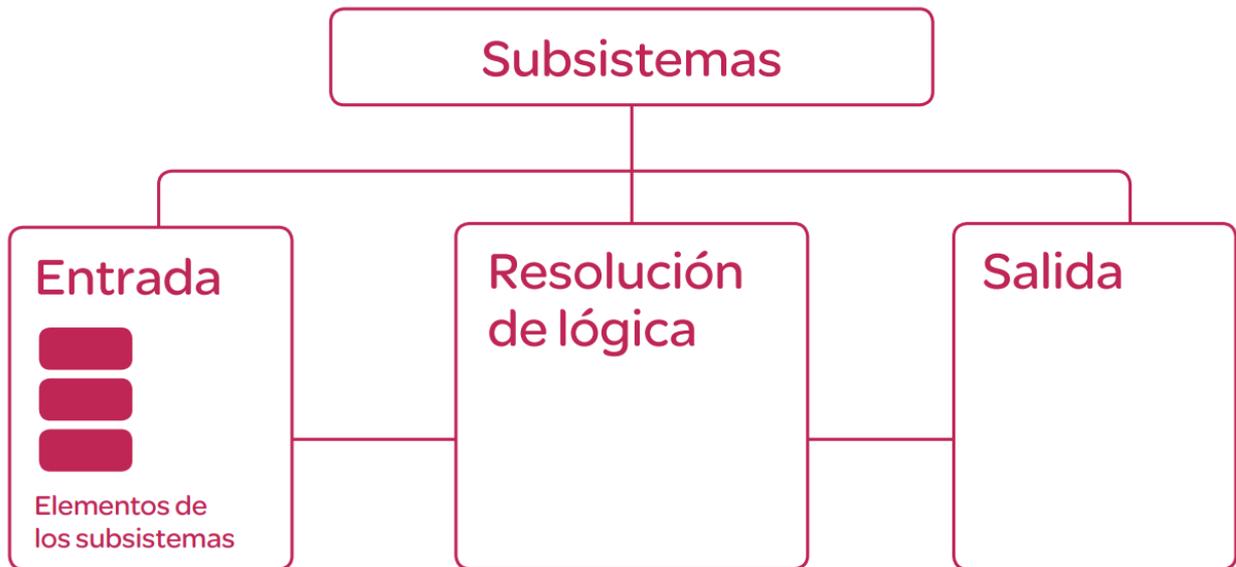


Figura 3-7. Subsistemas del sistema de control eléctrico relacionado con la seguridad (SRECS).

En el esquema anterior, se puede presentar el caso de que exista más de tres bloques en función de la conexión y el número de componentes utilizados; por ejemplo, un relé de expansión puede crear un bloque de lógica adicional.

Para cada bloque, se debe calcular un valor de PL o PFHD (probabilidad de fallo peligroso por hora). Lo más sencillo es obtener los valores de estos parámetros de las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante de componentes, de esta manera se puede evitar realizar los cálculos pertinentes. Usualmente el fabricante de interruptores, sensores, detectores y dispositivos lógicos suelen disponer de valores de PL y PFHD para cada uno de sus componentes; sin embargo, para dispositivos de salida (como contactores y válvulas) no se especifica el valor debido a que dependen de la frecuencia con la que se utilizará a dicho componente, teniendo que realizar el cálculo según la norma EN ISO 13849-1.

Para calcular los valores de los parámetros de PL o PFHD para un bloque en específico se debe tener conocimiento de la categoría, la cobertura del diagnóstico (DC) dividida en baja, media y alta y el tiempo medio hasta fallo peligroso (MTTFD) también dividido en bajo, medio y alto. Además, se debe evitar los posibles errores sistemáticos y asegurarse de que un error no anula ambos canales, así como generar y validar correctamente cualquier software que se pueda utilizar para facilitar el desarrollo de los cálculos.

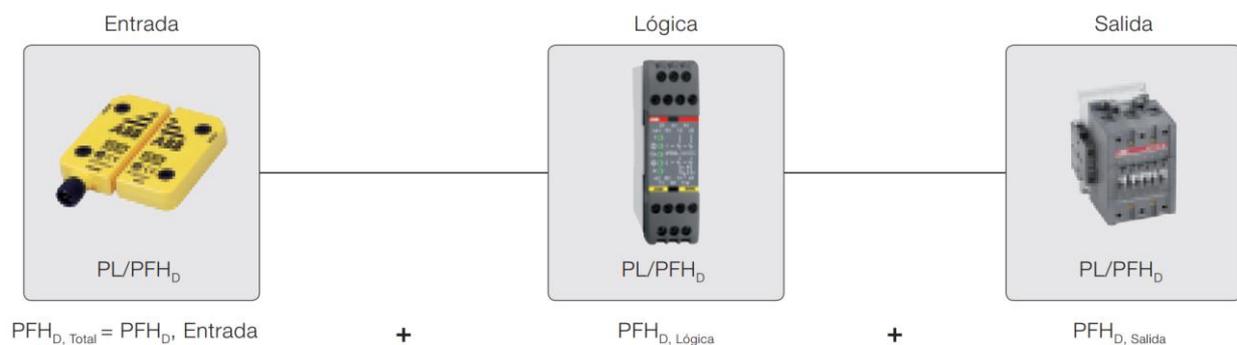
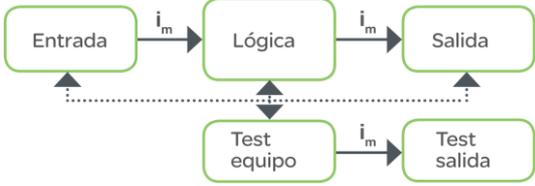
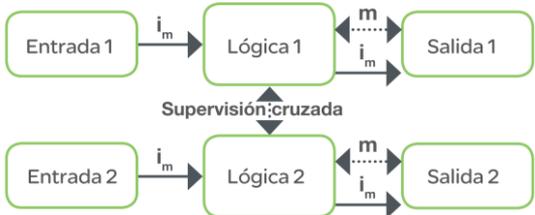
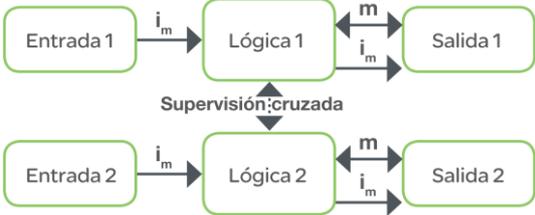


Figura 3-8. Bloques para las función de seguridad.

### 3.4.1 Categoría

La estructura del componente o de los componentes en el bloque se evalúa para determinar la categoría (que pueden ser B, 1, 2, 3 y 4) a la que corresponde. Para la categoría 4, por ejemplo, los fallos individuales no provocan ninguna pérdida de la función de seguridad; y para la obtención de esta categoría utilizando contactores se debe tener dos canales; es decir, dos contactores, que puedan cortar la alimentación eléctrica que ingresa a la máquina individualmente. Los contactores deben ser controlados conectando contactos de apertura a una de las entradas de prueba, por ejemplo, un relé de seguridad. Para controlar este tipo de tarea, los contactores deben tener contactos con maniobra de apertura positiva. La norma EN ISO 13849-1 define la clasificación de los sistemas por categorías según se muestra a continuación en la Tabla 3-8.

Tabla 3-8. Categorías para los sistemas según EN ISO 13849-1.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
Categoría B	Cuando se produce un fallo, se puede perder la función de seguridad.	
Categoría 1	Cuando se produce un fallo, se puede perder la función de seguridad, pero el MTTFd de cada canal en esta categoría es superior al de la categoría B. Por consiguiente, la pérdida de la función de seguridad es menos probable.	
Categoría 2	El comportamiento del sistema de categoría 2 permite que: si se produce un fallo, puede producirse la pérdida de la función de seguridad entre los ciclos de comprobaciones; la pérdida de la función de seguridad se detecta mediante ciclos de comprobación.	
Categoría 3	El SRP/CS para la categoría 3 debe diseñarse de modo que un único fallo en cualquiera de estas partes relacionadas con la seguridad no produzcan la pérdida de la función de seguridad. Siempre que sea razonablemente posible, este único fallo debe detectarse antes o en la siguiente demanda de la función de seguridad.	
Categoría 4	El SRP/CS para la categoría 4 debe diseñarse de modo que un único fallo en cualquiera de las partes relacionadas con la seguridad no produzcan la pérdida de la función de seguridad, y este único fallo se detecte antes o en la siguiente demanda de las funciones de seguridad, es decir, de inmediato, al activar o al finalizar el ciclo de operación de la máquina. Si esta detección no es posible, una acumulación de fallos sin detectar no debe producir la pérdida de la función de seguridad.	

En la sección de los componentes de seguridad, así como en el proyecto de implementación se debe tener en cuenta una serie de parámetros como: MTTFd, DC, CCF que definen la norma y que son definidos a continuación.

### 3.4.2 Cobertura del diagnóstico (DC)

La cobertura del diagnóstico es utilizada para caracterizar la eficiencia de la monitorización de fallos en el sistema de seguridad. La DC no solo se basa en el número de componentes que puedan fallar de manera peligrosa, sino que también debe tener en cuenta la tasa total de fallos peligrosos.

La cobertura del diagnóstico se define según la siguiente fórmula:

$$DC = \frac{\lambda_{dd}}{\lambda_d}$$

Donde,

$\lambda_d$  se define como la tasa de fallos peligrosos (donde se contemplan los fallos detectados y no detectados).

$\lambda_{dd}$  se define como la tasa de fallos peligrosos detectados. Referente a los fallos que son detectados por el sistema de seguridad consecuente llevará a la máquina a un estado seguro.

El método más eficiente para determinar la cobertura del diagnóstico (DC) se detalla en el Anexo "E" de la norma ISO 13849-1, donde se incluye diversas medidas y su correspondencia con la DC. Por ejemplo, se puede tener un valor de DC = 99% (que corresponde a una DC alta) para un par de contactores.

### 3.4.3 Tiempo medio hasta fallo peligroso (MTTFD)

El tiempo medio hasta que se produzca un fallo peligroso está relacionado directamente con la fiabilidad de cada uno de los componentes de seguridad. Lo aporta el fabricante del componente y se representa en años.

Para calcular el MTTFD para un bloque determinado, su punto de partida es el valor  $B_{10d}$  (promedio de ciclos hasta que el 10% de los componentes sufre un fallo peligroso); además se debe tener conocimiento del promedio de ciclos al año que ejecutará el componente.

El cálculo del promedio de ciclos es el siguiente:

$$MTTFD = \frac{B_{10d}}{0,1 \times n_{op}}$$

$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600}{t_{ciclo}}$$

Donde,

$n_{op}$  es el número de ciclos al año.

$d_{op}$  son los días de funcionamiento al año.

$h_{op}$  son las horas de funcionamiento al año.

$t_{ciclo}$  es el tiempo de ciclo en segundos.

Por ejemplo, si se tiene los siguientes valores:  $d_{op} = 365$  días,  $h_{op} = 24$  horas y  $t_{ciclo} = 1.800$  segundos (2 veces/hora) tenemos como resultado un  $n_{op} = 17.520$  ciclos. Con un valor de  $B_{10d} = 2000000$  tenemos como resultado un  $MTTFD = 1.141$  años que corresponde a un nivel alto del  $MTTFD$ .

Al calcular el  $MTTFD$  se tiene que realizar procedimiento de cálculo según el valor del número total de ciclos de funcionamiento del componente; un ejemplo común son los contactores que trabajan de modo simultáneo para varias funciones de seguridad. Esto significa que se tiene que sumar el número estimado de ciclos al año de todas las funciones de seguridad que utilicen los contactores.

Para los componetes electromecánicos, mecánicos y neumáticos cuyo  $MTTFD$  se calcule a partir de un valor  $B_{10d}$  se debe tener en cuenta que si el valor del  $MTTFD$  es inferior a 200 años es necesario sustituir el componente después del 10% del valor del  $MTTFD$  para que las condiciones de cumplimiento del PL sigan siendo válidas; es decir, que si un componente con un  $MTTFD = 160$  años debe sustituirse después de 16 años.

#### 3.4.4 Fallo por causa común (CCF)

En las categorías 3 y 4 (tolerables a fallo único) el principio se basa en la premisa de que no se producirán fallos peligrosos en ambos canales al mismo tiempo en el intervalo de prueba de diagnóstico. Si el intervalo entre pruebas de diagnóstico es corto (menor a 8 horas) es fácil asumir que dos fallos no relacionados tienen una probabilidad muy baja de producirse en ese periodo.

Por otra parte, es posible que un suceso que ocasione un fallo en un componente pueda producir otro fallo en un componente diferente, teniendo como resultado fallos por causa común (CCF). Se define como factor beta ( $\beta$ ) al grado de predisposición del sistema de fallos por causa común.

A continuación, se enumeran los fallos por causa común más frecuentes:

- Cortocircuitos entre canales.
- Sobretensión, sobreintensidad.
- Pérdida de alimentación eléctrica.
- Fallos provocados por errores de transmisión en los que se utiliza comunicación digital.
- Fallos provocados por interferencias electromagnéticas (EMI).
- Fallos provocados por condiciones ambientales como: temperatura, humedad, vibraciones, etc.

Una lista más detallada se describe en el Anexo F de la norma EN ISO 13849-1, donde se asigna una puntuación a cada medida que se tome en el sistema de seguridad, teniendo que implementar suficientes medidas para evitar fallos por causa común hasta alcanzar puntaje mínimo de 65/100 puntos.

### 3.5 Verificación de la seguridad funcional

Para la verificación o validación del nivel de prestaciones, el PL de la función de seguridad tiene que ser igual o superior al PLr requerido ( $PLr \leq PL$ ). Si la función de seguridad está formada por varios subsistemas, sus correspondientes niveles de prestaciones deberán de igual manera ser iguales o mayores que el nivel de prestaciones requerido para cada una de las funciones de seguridad. Para facilitar el proceso de verificación se recomienda usar subsistemas certificados, ya que tendrán bien definidos los valores de prestaciones de seguridad. Para verificar el PL de un sistema de seguridad formado por varios subsistemas certificados se tiene que determinar la susceptibilidad del sistema a fallos por causa común (CCF) mediante la lista de comprobación de CCF.

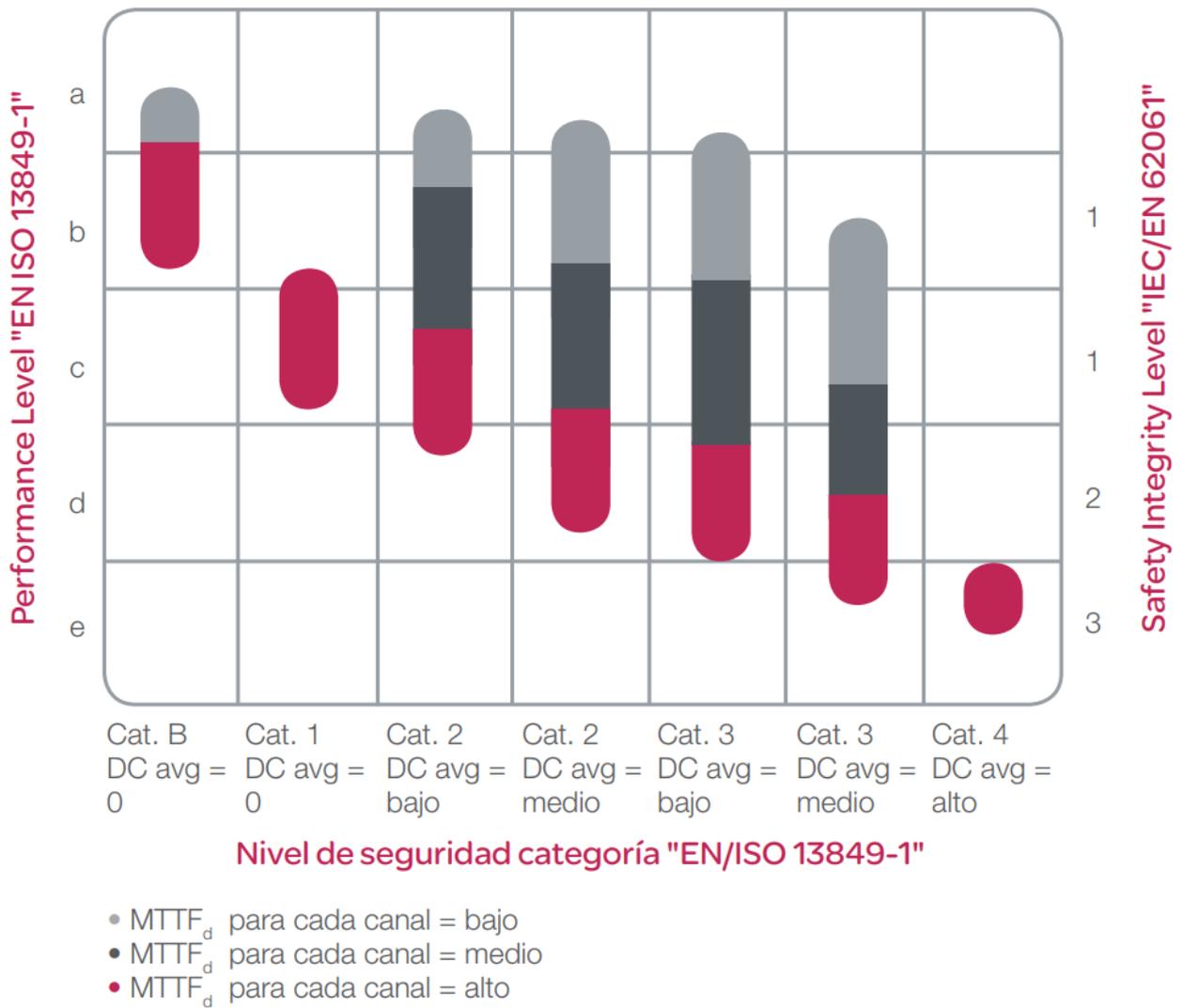


Figura 3-9. Relación entre categorías, la DC promedio y el MTTFD para cada canal y PL.

### 3.6 Resumen

Para resumir todas las etapas descritas en los apartados anteriores, se utiliza el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3-10.

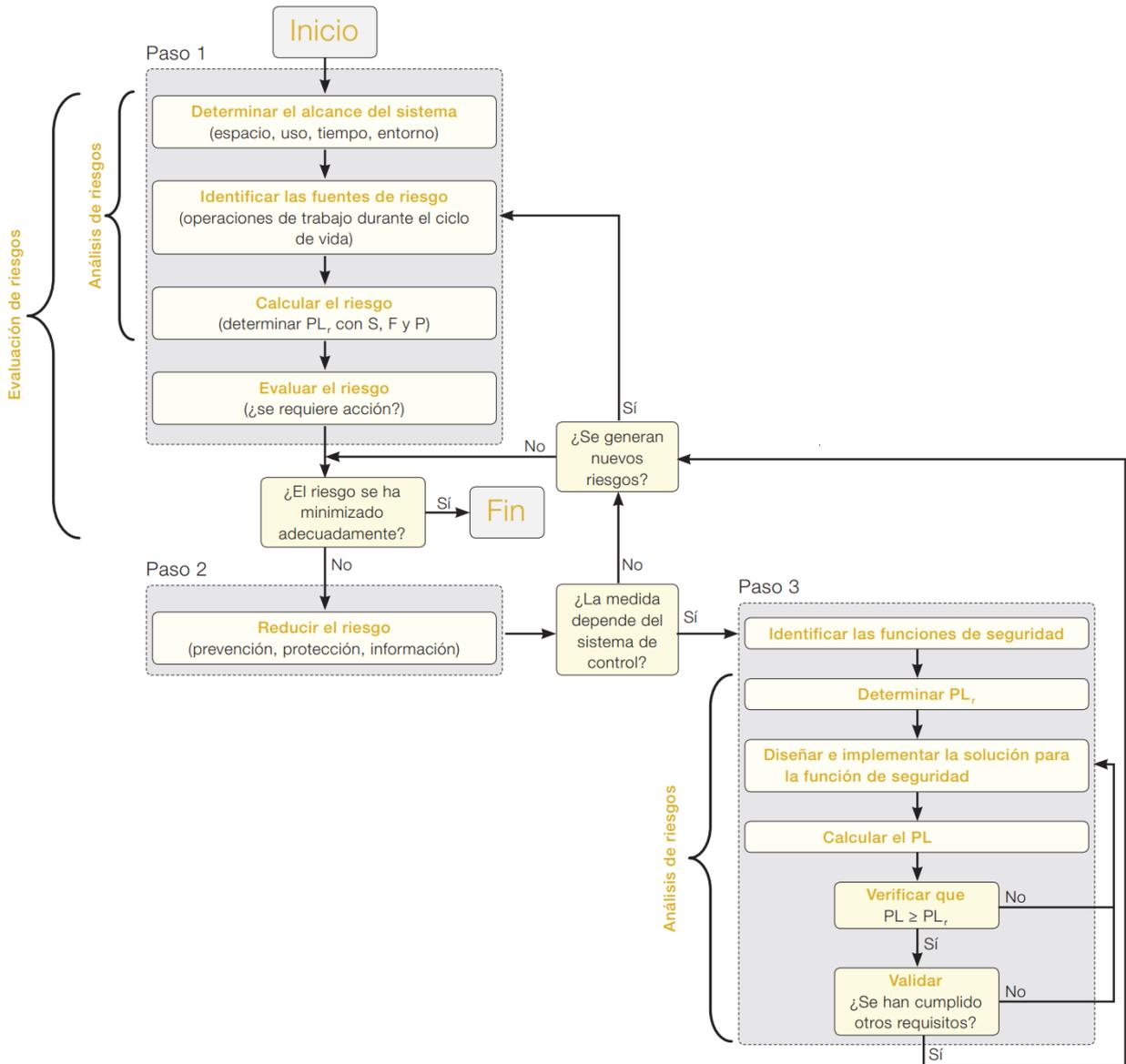


Figura 3-10. Diagrama de flujo del método de trabajo según la norma EN ISO 13849-1.

## 4 ÓRGANOS DE ACCIONAMIENTO

Una vez realizado el proceso de verificación de la seguridad funcional de una determinada máquina (proceso realizado en el capítulo anterior), se procede a ejecutar un estudio con el fin de determinar todos los elementos, equipos y dispositivos que cumplan con las especificaciones técnicas necesarias para asegurar que el sistema de seguridad funcional de la máquina funcione correctamente en todas las etapas de su vida útil para evitar posibles lesiones de cualquier tipo sobre los usuarios que interactúen con dicha máquina.

Algunos de los riesgos pueden evitarse con medidas fáciles de implementar; el ejemplo, el uso de un disolvente no inflamable para las tareas de limpieza puede eliminar el peligro de incendio cuando se utilizan disolventes inflamables; a esta fase se la conoce como diseño inherente seguro y es la única manera de eliminar un posible riesgo.

A continuación, se presentan más ejemplos, al eliminar la transmisión al final del rodillo en un transportador se reduce la probabilidad de algún tipo de atrapamiento en el rodillo. Al sustituir las poleas rayadas por discos uniformes evidentemente elimina los posibles peligros de amputaciones. Si se evitan los bordes, las esquinas y las protuberancias afiladas se evitan los cortes y rasguños. Si se aumenta la distancia mínima se puede reducir o en el mejor de los casos eliminar el riesgo de aplastamiento de alguna extremidad del usuario. Si se reducen las fuerzas, las velocidades y las presiones en general se están reduciendo la probabilidad de posibles lesiones.

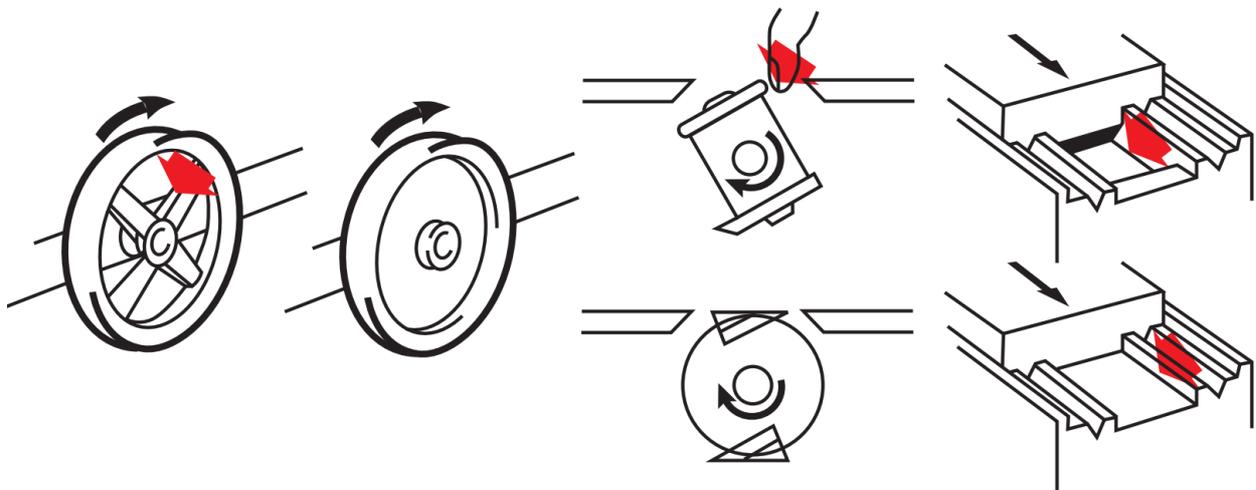


Figura 4-1. Eliminación de zonas cortantes usando medidas de diseño inherentemente seguras.

Sin embargo, se tiene que verificar que no se está introduciendo un riesgo por otro; por ejemplo, las herramientas accionadas con aire evitan los peligros asociados a la electricidad, pero pueden introducir otros peligros por el uso de aire comprimido, como la introducción de aire en el cuerpo o el ruido generado por el compresor.

En general la principal prioridad es la eliminación de los peligros o la reducción de los riesgos hasta que alcancen un nivel tolerable a través del uso de medidas de diseño inherentemente seguras.

### 4.1 Protección y medidas protectoras complementarias

En el caso que no sea posible aplicar un diseño inherentemente seguro (dando como resultado la presencia de

posibles riesgos y peligros dentro del funcionamiento de la máquina) es necesario la utilización de medidas de protección. Esta medida puede incluir protecciones fijas, protecciones de enclavamiento, detección de presencia para evitar arranques inesperados, etc.

El objetivo principal de las medidas de protección es evitar que las personas entren en contacto con los peligros y riesgos, o bien reducirlos a un nivel que se considere aceptable o tolerable. Las protecciones en sí mismas pueden ser de tipo fijo para cercar o distanciar un peligro, o bien móviles para que puedan cerrarse automáticamente o se accionen o se enclaven eléctricamente según los requerimientos.

## 4.2 Dispositivos de protección

Entre los principales dispositivos de protección utilizados dentro del sistema de protección tenemos que se describen a continuación.

### 4.2.1 Interruptores de enclavamiento

Los interruptores de enclavamiento son usados típicamente para detectar la posición de las protecciones móviles para el interbloqueo del control, y normalmente para permitir tareas como la carga o descarga, acciones de limpieza, configuración de equipos, etc. Se protege al usuario al detener a la máquina cuando el actuador se retira del cabezal del interruptor, cuando se acciona la palanca o el pulsador, cuando la protección se abra o la bisagra de la protección gira 5°, normalmente en máquinas que tiene baja inercia; es decir, en máquinas con tiempos rápidos de parada.

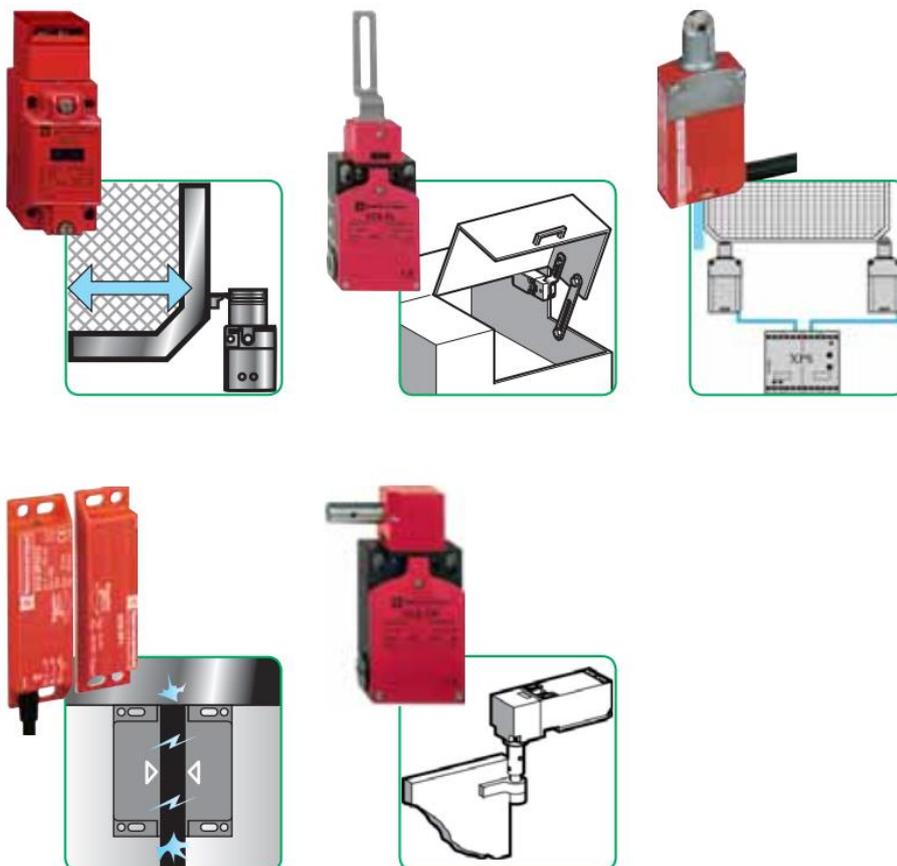


Figura 4-2. Ejemplos típicos de interruptores de enclavamiento.

### 4.2.2 Barreras inmateriales

Las barreras inmateriales son usadas para detectar la aproximación de dedos, manos o el cuerpo de una persona a una zona peligrosa. Su resolución puede ser de hasta 14mm, 30 mm y mas de 30mm dependiendo del fabricante y del tipo de barrera.

Usualmente las barreras inmateriales son usadas en aplicaciones de mantenimiento, packaging, cintas transportadoras, en áreas de almacenamiento, entre otras. Estos dispositivos se han diseñado para la protección de las personas que interactúen de alguna forma con la máquina, deteniendo las acciones que produzcan posibles riesgos o peligros en el que se corten los haces de luz.

La principal ventaja con la instalación de barreras inmateriales es evitar puertas y protecciones que reduzcan el tiempo requerido para cargar, inspeccionar o realizar ajustes dentro de una determinada área de trabajo de la máquina en cuestión.

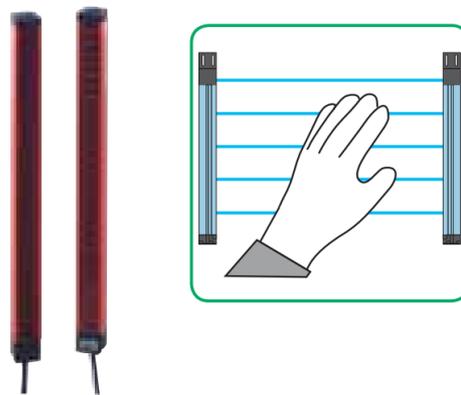


Figura 4-3. Barrera inmaterial.

### 4.2.3 Tapices de seguridad

Los tapices de seguridad detectan la presencia de la persona que entra en contacto con el tapiz provocando la parada del movimiento peligroso. Los tapices normalmente se emplean frente o alrededor de las máquinas o robots que presentan algún tipo de peligro; son capaces de proporcionar una zona de protección entre los operarios de la máquina y los movimientos peligroso que pueden ocurrir en el desarrollo de las tareas de la máquina.

Los tapices de seguridad se han diseñado para garantizar la seguridad del personal y servir de complemento a los productos de seguridad como las barreas inmateriales.

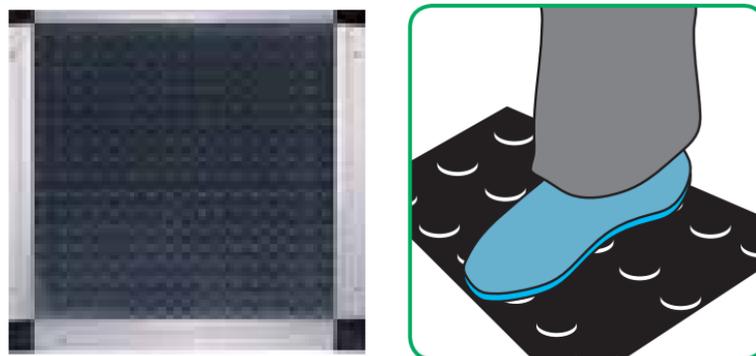


Figura 4-4. Tapiz de seguridad.

#### 4.2.4 Dispositivos accionados mediante enclavamientos por electroimán

Los dispositivos accionados mediante enclavamientos por electroimán son usados para evitar la apertura de las protecciones. Durante las fases peligrosas del funcionamiento de la máquina (a diferencia de los enclavamientos sin electroimán), estos se utilizan en cargas que presentan alta inercia; es decir, en los casos en los que el tiempo de detención es largo y es preferible permitir el acceso únicamente cuando se haya verificado que el movimiento peligroso se ha detenido. Se utilizan a menudo en aplicaciones de circuitos de temporización (en el que se conoce y define el tiempo de detención de la máquina) o en la parada real de velocidad cero (en la que el tiempo de parada puede variar) para permitir el acceso únicamente cuando se den condiciones seguras.

Los dispositivos de enclavamiento deben ser seleccionados para reducir la probabilidad de fallos y defectos sin impedir las tareas de producción de la máquina.

#### 4.2.5 Mandos bimanuales e interruptores de pedal

Estos dispositivos son usados para garantizar que el usuario se encuentra fuera del área de peligro al momento que está ocurriendo un determinado movimiento peligroso; por ejemplo, el recorrido descendente en aplicaciones donde se use una prensa. Los mandos bimanuales y los interruptores de pedal principalmente brindan seguridad al operario de la máquina.

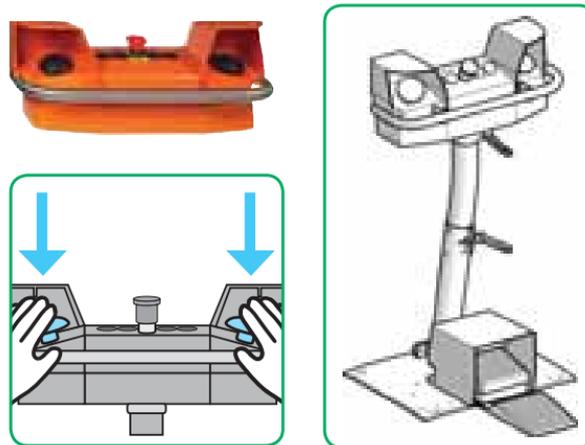


Figura 4-5. Mando bimanual e interruptor accionado por pedal.

#### 4.2.6 Mandos de validación

Los mandos de validación permiten el acceso en condiciones específicas de riesgo reducido y son usados para funciones de mantenimiento, puesta en marcha, ajuste, etc. Disponen de un posición central y dos posiciones de “no funcionamiento” (totalmente liberado o presinado).



Figura 4-6. Mandos de validación.

### 4.3 Sistemas de control

Las señales provenientes de los dispositivos de protección generalmente son controladas por relés de seguridad, controladores de seguridad o autómatas de seguridad (denominados “dispositivos de resolución de lógica programable”), y que a su vez son utilizados para accionar dispositivos de salida como, por ejemplo: contactores.

La elección del dispositivo de resolución de lógica programable depende de muchos factores, incluido el número de entradas de seguridad que se tiene que adquirir, el coste, la complejidad de las funciones de seguridad, la necesidad de reducir el cableado mediante la descentralización con un específico bus de campo como el sistema AS-Interface Safety at Work o SafeEthernet, o incluso la necesidad de enviar señales de seguridad o datos en largas distancias a través de máquinas de gran tamaño.



Figura 4-7. Tipos de dispositivos para sistemas de control.

El uso de los dispositivos electrónicos complejos y software en los controladores de seguridad y los autómatas de seguridad en parte ha contribuido con el desarrollo de las normativas relacionadas con los sistemas de control eléctricos relacionados con la seguridad.

La protección incluirá algún tipo de sistema de control y la Directiva de Máquinas destaca diversos requisitos sobre las prestaciones del sistemas de control, en especial exige que los sistemas de control deben diseñarse y montarse de modo que se evite la generación de situaciones peligrosas.

### 4.4 Medidas protectoras complementarias

Las medidas protectoras complementarias se refieren específicamente a las paradas de emergencia, ya que no

se consideran como un medio fundamental para la reducción de riesgos existentes en la máquina; sin embargo, son necesarias en la instalación de cualquier máquina. Se utilizan básicamente como un sistema complementario en caso de emergencia y deben ser robustas, fiables y estar disponibles en todas las posiciones en las que pueda ser necesario accionarlas.

En IEC 60204-1 se define las siguientes tres categorías de funciones de parada:

- Categoría de parada 0: Parada mediante la interrupción inmediata de la alimentación de los accionadores de la máquina (parada no controlada).
- Categoría de parada 1: Una parada controlada, en la que se mantiene alimentados los accionadores para que puedan detener la máquina e interrupción de la alimentación cuando se ha obtenido la parada.
- Categoría de parada 2: Una parada controlada con alimentación en los accionadores de la máquina.

Las paradas de emergencia instaladas en la máquina tiene que ser “antifraudes”; es decir, que su diseño debe garantizar que, aunque se pulse el botón muy lentamente o se tire del cable, si el contacto que normalmente está cerrado se abre, el mecanismo debe enclavarse sin dificultad alguna. También, debe darse lo contrario; es decir, que el enclavamiento no debe producirse a menos que se abra el contacto de normalmente cerrado.



Figura 4-8. Dispositivos de parada de emergencia.

# 5 SISTEMAS DE SEGURIDAD PARA LA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE

En el presente capítulo se pretende realizar un estudio de los sistemas de seguridad funcional dentro del funcionamiento de la célula de fabricación flexible ubicada en los laboratorios del departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática (Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla); para lo cual de forma resumida se identificarán todos los posibles riesgos y/o peligros que puedan ocurrir en un determinado momento en cada uno de los puestos de trabajo de la célula (véase Capítulo 2), cada riesgo debe ser tratado de manera individual para poder eliminarlos o reducirlos hasta un rango tolerable. Este proceso es necesario para garantizar el bienestar tanto del profesor como del alumnado que tiene que interactuar de alguna forma con uno o más puestos de trabajo de la célula de fabricación flexible.

Para llevar a cabo la implementación de los sistemas de seguridad para la célula de fabricación flexible se debe tener en cuenta las normas descritas en el Capítulo 3, principalmente las normas EN ISO 12100 y EN ISO 13849-1. Los pasos a seguir son los siguientes:

- PASO 1: Evaluación de riesgos e identificación de las funciones de seguridad necesarias.
- PASO 2: Determinar el nivel de prestaciones requerido (PLr) para cada función de seguridad.
- PASO 3: Identificar la combinación de las partes relacionadas con la seguridad que realizan la función de seguridad.
- PASO 4: Evaluar el nivel de prestación (PL) de todas las partes relacionadas con la seguridad.
- PASO 5: Comprobar que el PL del SRP/CS de cada función de seguridad es mayor o igual que el PLr.
- PASO 6: Validación de todos los requisitos.

Debido a que la célula de fabricación flexible está compuesta de sistemas eléctricos, mecánicos y neumáticos se optó por el uso del cálculo del PL (nivel de prestaciones) y no del SIL (nivel de integridad de seguridad).

## 5.1 Evaluación de riesgos en la célula de fabricación flexible

Para la evaluación de los posibles riesgos que pueden ocasionarse en un determinado momento dentro del funcionamiento de la célula de fabricación flexible, es necesario establecer los puntos que se detallan en los apartados siguientes.

### 5.1.1 Límites y funciones de la célula

**Destino de aplicación:** La célula de fabricación flexible es usada con fines de docencia para desarrollar diversas prácticas de automatización, aprovechando la integración de diversas tecnológicas que se encuentran implementadas para el funcionamiento de cada puesto de trabajo.

**Límites de espacio de la Máquina:** Las dimensiones de la célula de fabricación flexible (con sus respectivos

puestos de trabajo) desde la vista superior están representados en la Figura 5-1.

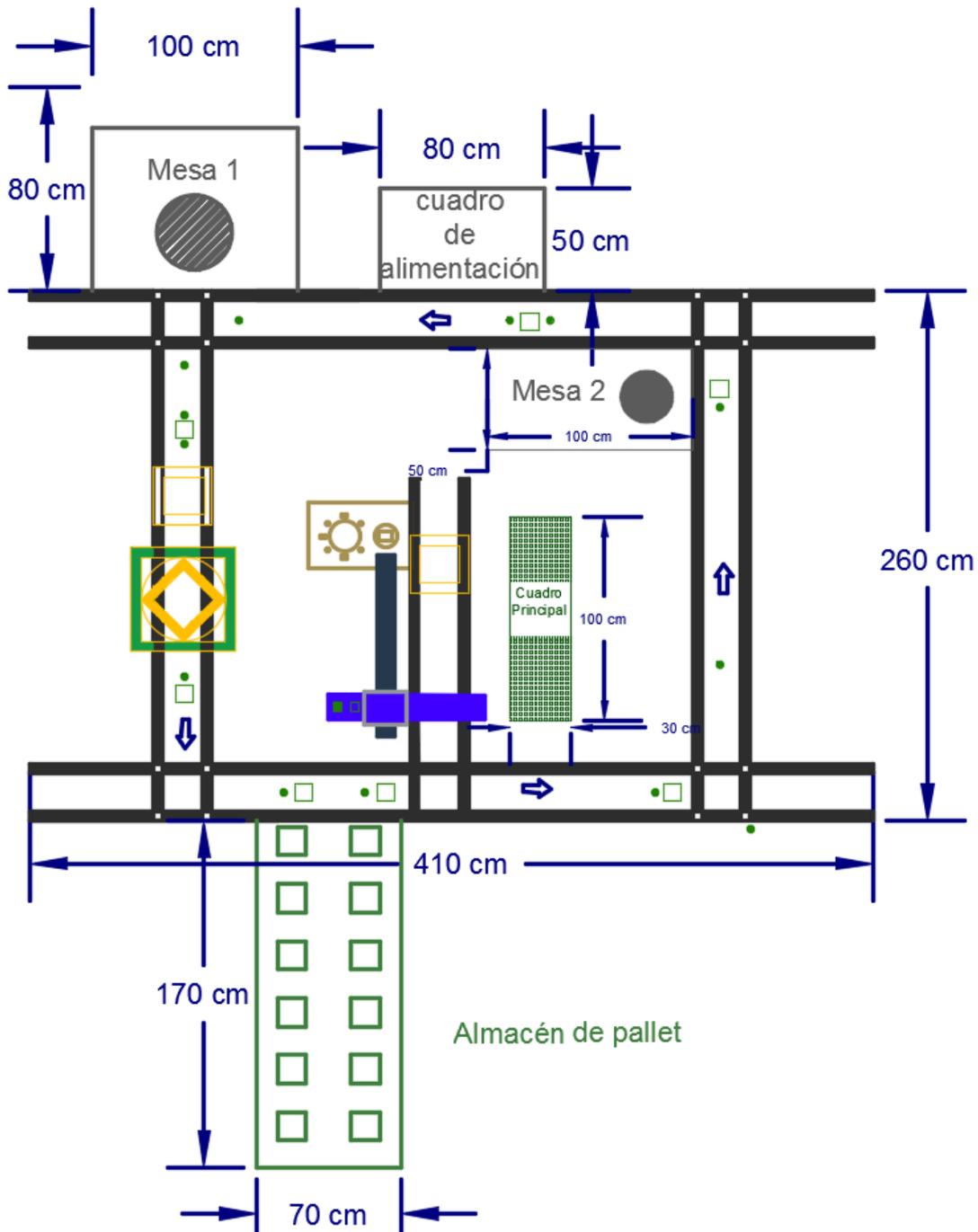


Figura 5-1. Dimensiones de la célula de fabricación flexible desde la vista superior.

Por las características de los dispositivos, elementos, equipos y estructuras mecánicas que componen cada puesto de trabajo tenemos riesgos: eléctricos, mecánicos y neumáticos. Se considera que los retenedores instalados en el circuito de las cinco bandas transportadoras no entrañan ningún riesgo dada que las dimensiones de sus carreras y su velocidad de desplazamiento se consideran como bajas.

**Límites temporales:** La célula de fabricación flexible es un equipamiento que no es usado periódicamente y se tiene una estimación para su funcionamiento de aproximadamente 50 horas al año, y esto se debe a que su

puesta en marcha depende de las necesidades requeridas por el docente encargado de llevar una determinada práctica, demostración o investigación. Dicho lo anterior no se puede contemplar un período de vida útil concreto para la célula de fabricación flexible.

Para el puesto de trabajo referente al alimentador de bandejas, los desplazamientos de los cilindros de elevación y de giro tienen poca demanda de activación; por tanto, para los puestos de trabajo del alimentador de bandejas y del circuito de las cinco bandas transportadoras las operaciones de mantenimiento van dirigidas a la sustitución por caducidad de ciertos elementos neumáticos como, por ejemplo, mangueras o retenedores.

### 5.1.2 Tareas de la célula de fabricación flexible

La célula es utilizada como una plataforma de formación para el aprendizaje del alumnado y constantemente se llevan a cabo diversos trabajos para mejorar el funcionamiento de cada puesto de trabajo que la conforma. Actualmente la célula de fabricación flexible está formada por un circuito de cinco cintas o bandas transportadoras donde se depositan bandejas, las mismas que serán almacenadas o extraídas de un alimentador previsto sobre una de las cintas transportadoras. Un almacén robótico matricial es el encargado de servir pallets en las bandejas o de almacenar los pallets que previamente se colocaron sobre las bandejas.

**Usuario:** Los usuarios que están en contacto con la célula son el profesor y los alumnos. Para que los usuarios interactúen con un puesto de trabajo en específico se dispone de computadoras ubicadas estratégicamente y que tienen conexión a cada uno de los PLCs que controlan, por ejemplo: las cintas transportadoras, brazos robóticos, motores, retenedores, etc.

Durante el funcionamiento de la célula se pueden producir fallos que supongan atascos y la posibilidad de caídas de las bandejas, por ejemplo, es posible que los usuarios puedan acceder a la zona del cilindro de elevación del alimentador de bandejas o a la zona del cuadro eléctrico principal donde existen riesgos por atrapamiento y electrocución respectivamente. Como medida preventiva de seguridad el usuario debe recibir una formación previa del sistema de seguridad y tener conocimiento de cada uno de los posibles riesgos que se identificarán a lo largo de este capítulo.

**Usuario mantenedor:** Con el transcurso de los años, la posibilidad de que se produzcan averías en los sensores, actuadores, controladores, robots, etc., aumenta. Se prevén operaciones de mantenimiento tanto preventivas como correctivas como, por ejemplo, operaciones de reparación eléctrica en los cuadros de control, operaciones de reparación mecánica en las estructuras que forman los puestos de trabajo y operaciones de sustitución de elementos neumáticos por caducidad del material.

**Usuario limpiador:** De forma general, la célula de fabricación flexible debe ser limpiada en seco con un paño o en el mejor de los casos con equipos aspiradores; excluyendo el uso de detergente líquido o disolventes inflamables.

### 5.1.3 Evaluación de riesgos

Para determinar los posibles riesgos, se analiza a cada puesto de trabajo de la célula de fabricación flexible de manera individual.

#### 5.1.3.1 Circuito de bandas transportadoras

Cuando el circuito formado por las cinco bandas transportadoras se encuentra en movimiento, intervienen los siguientes riesgos:

**RIESGO 1.** Riesgo de atrapamiento, aprisionamiento y enganche de dedos, mano o pelo del usuario; para el caso de la transmisión mecánica que se produce en los engranajes instalados en las cintas transportadoras que tienen como objetivo elevar a las bandejas para que cambien su trayectoria de una cinta a otra.

En total existen instalados cinco juegos de engranajes para elevar a las bandejas y cumplir el ciclo del transporte de las bandejas alrededor de las cintas de la célula, dichos engranajes están distribuidos de la siguiente manera: dos se encuentran en la cinta 3 (al inicio y al final) para hacer el cambio de trayectoria de las bandejas desde la cinta 2 a la 3 y desde la cinta 3 a la 4; los restantes tres juegos de engranajes están instalados en la cinta 1 (al inicio, al final y en la mitad) con el objetivo de cambiar la trayectoria de las bandejas desde la cinta 4 a la 1, de la 1 a la 5 y finalmente de 1 a la 2.

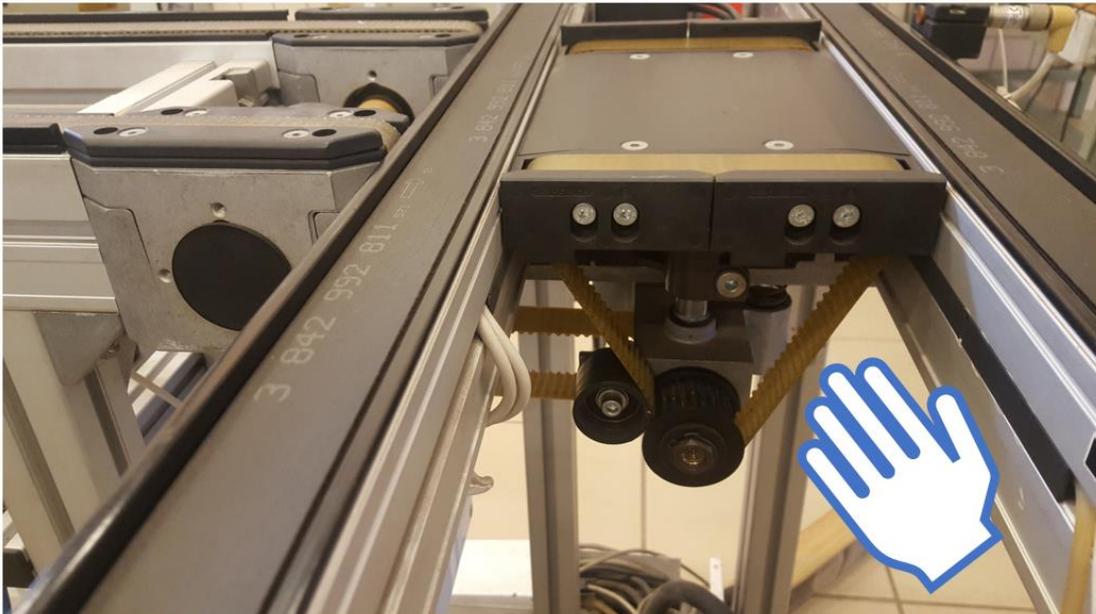


Figura 5-2. Riesgo de atrapamiento en las cintas transportadoras.

**RIESGO 2.** Riesgo de electrocución, presente en el cuadro eléctrico principal ya que dispone de una tensión de entrada de 230VAC/50Hz. Por las dimensiones que dispone este cuadro eléctrico y por todos los componentes que dispone (PLC, módulos de entrada/salida para el PLC, contactores, variador, relés, cableado en general), aumenta el riesgo de lesión o muerte que puede afectar al usuario.

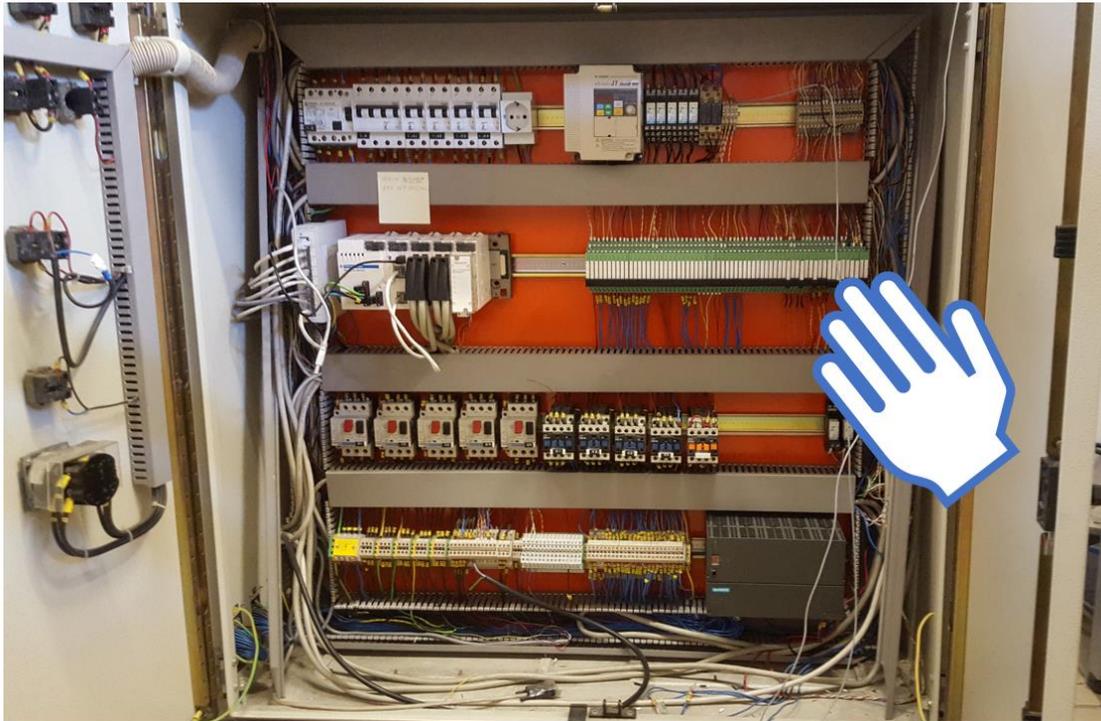


Figura 5-3. Riesgo eléctrico en el cuadro de control principal.

**RIESGO 3.** Riesgo de golpes en las extremidades inferiores del usuario, en el caso de la caída de objetos como, por ejemplo: bandejas, pallets, y piezas que se encuentran sobre circuito de las bandas transportadoras. No necesariamente debe ocurrir un fallo dentro del funcionamiento de la célula para que ocurra este riesgo, también puede producirse por una mala ubicación de las piezas sobre las bandejas o pallets.

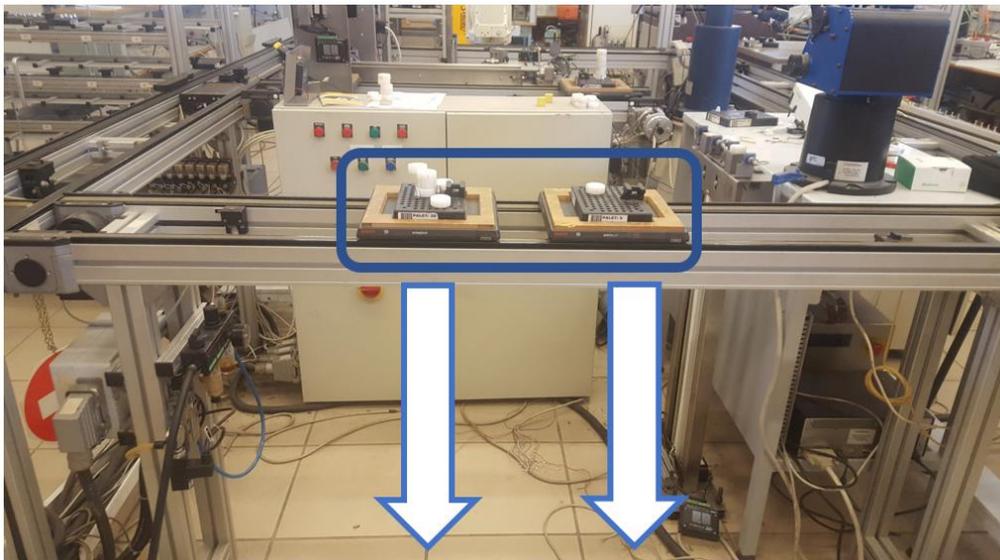


Figura 5-4. Riesgo de caída de objetos en las cintas transportadoras.

**RIESGO 4.** Por último, existen riesgos de aire comprimido presente en todo el circuito de las bandas transportadoras, esto debido a la distribución para la instalación de las electroválvulas neumáticas encargadas de la activación de los retenedores. El compresor encargado de suministrar el aire comprimido se encuentra fuera del laboratorio eliminando así un posible riesgo de ruido en el funcionamiento de la célula de fabricación

flexible. Las mangueras encargadas de la conducción del aire también se consideran como un posible riesgos debido a que puede tener la presencia de una o más fugas en su material.

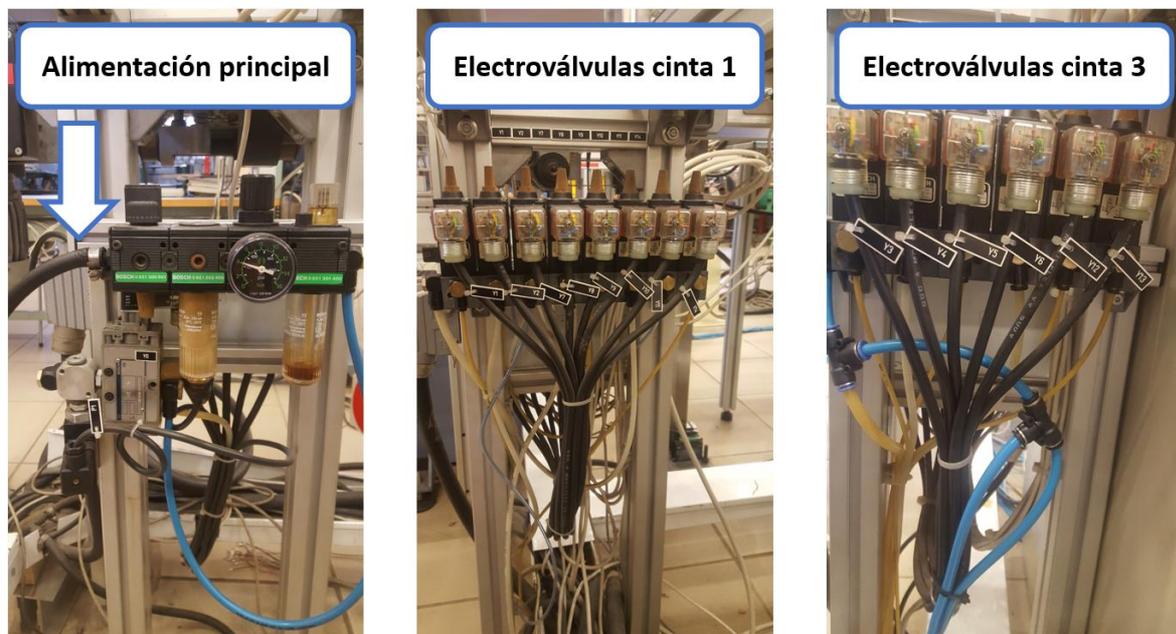


Figura 5-5. Riesgo de aire comprimido en las cintas transportadoras.

### 5.1.3.2 Alimentador de Bandejas.

Actualmente el alimentador de bandejas se encuentra ubicado sobre la cinta 4; y previamente se optó por medidas de seguridad para minimizar los posibles accidentes como, por ejemplo: eliminar el riesgo de atrapamiento de dedos en el sistema cremallera/piñón con la instalación de salvaguardas, así como también la eliminación del riesgo de atrapamiento de manos y/o dedos entre el mecanismo usado para el giro de las bandejas mediante la instalación de una estructura de aluminio cubierta con 4 paneles de metacrilato en la parte superior. Sin embargo, aún presenta diversos riesgos que pueden accionar situaciones de peligro en contra del profesor y alumnos.

**RIESGO 5.** Riesgo de atrapamiento y aprisionamiento de dedos y/o mano, entre el cilindro elevador de bandejas y la estructura de aluminio que sirve como soporte del alimentador de bandejas. Se debe mencionar que el alimentador de bandejas tiene instalado un sistema para detectar los atrapamientos mediante un mecanismo basado en interruptores de seguridad, los mismos que se activan una vez que ocurre el atrapamiento. Para la eliminación total del riesgo es necesario optar por una medida que garantice totalmente la seguridad del usuario.

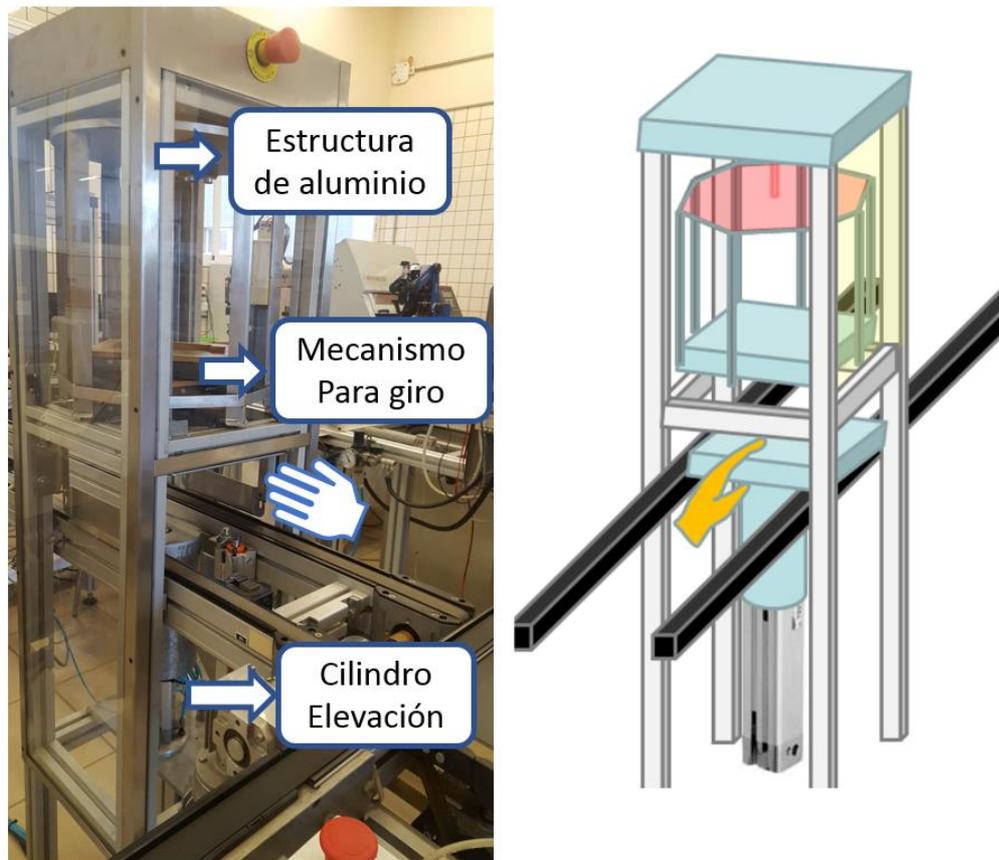


Figura 5-6. Riesgo de atrapamiento y/o aprisionamiento en el alimentador de bandejas.

**RIESGO 6.** El alimentador de bandejas dispone de su propio cuadro eléctrico de control, y por lo tanto existe la presencia de riesgo por electrocución de corriente alterna con 230VAC/50Hz que puede ocasionar diversas lesiones o incluso la muerte al usuario que entre en contacto con la tensión de alimentación del cuadro de control.

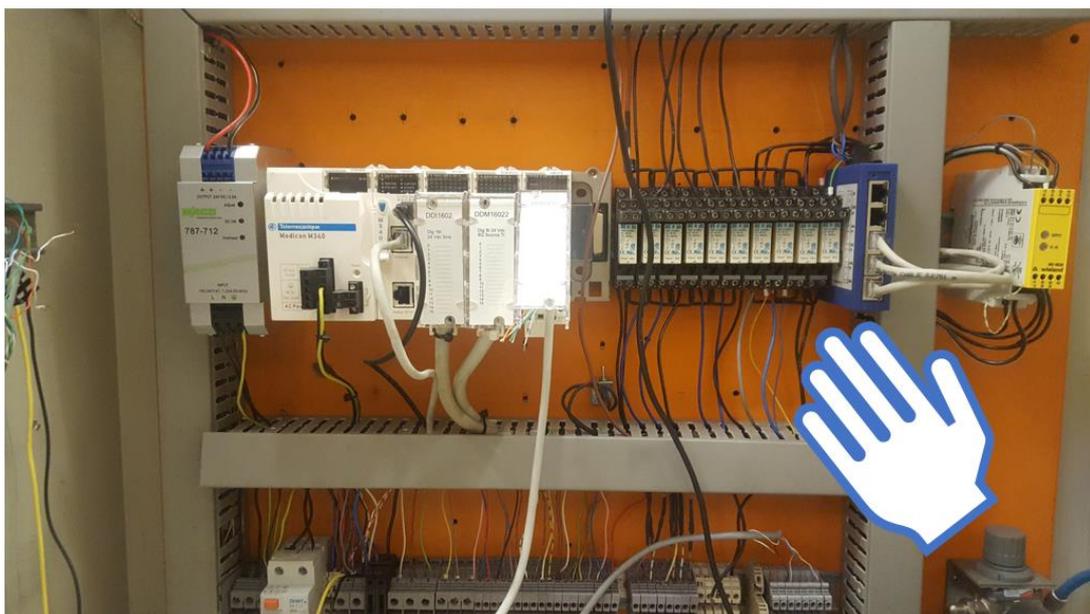


Figura 5-7. Riesgo eléctrico en el cuadro de control del alimentador de bandejas.

**RIESGO 7.** Finalmente, el alimentador de bandejas presenta el riesgo al usar aire comprimido. Este riesgo se encuentra presente en diferente sitios de la célula de fabricación flexible, tanto en el cuadro eléctrico de control del alimentador de bandejas, donde además de las instalaciones eléctricas están las electroválvulas para el control de los dos cilindros (de elevación y de giro), así como también en los cilindros que están instalados en la estructura del alimentador de bandejas.

Debido a que puede existir un fallo en los materiales (mangueras) que son usados para la conducción del aire comprimido y producir alguna fuga, se puede decir que también existe riesgo en el sistema de conducción desde las electroválvulas situadas en el tablero de control hasta los cilindros ubicados en la estructura del alimentador de bandejas.

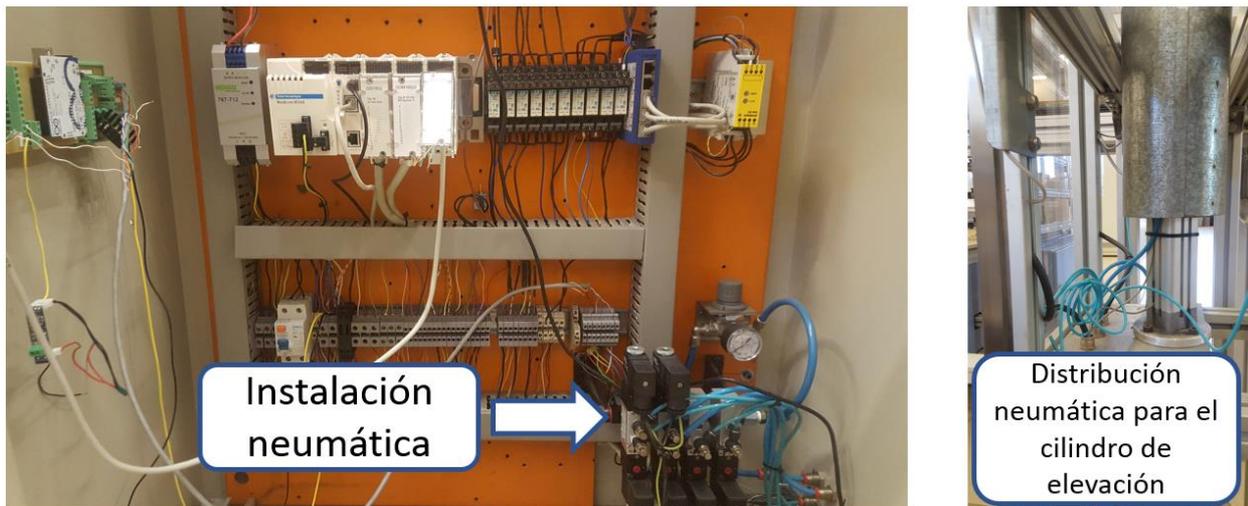


Figura 5-8. Riesgo de aire comprimido en las instalaciones neumáticas del alimentador de bandejas.

### 5.1.3.3 Almacén robotizado ASRS

El almacén robótico matricial ASRS de Eshed Robotik es un equipamiento que tiene seguridades incluidas de fábrica (siendo la principal medida de seguridad un aislamiento formado con una estructura de acrílico que cubre al almacén de posibles intrusos); sin embargo, con el transcurso del tiempo se han ido deteriorando. El riesgo que se pudo indentificar para el almacén es el siguiente:

**RIESGO 8.** Riesgo de posibles golpes por parte del robot manipulador situado en el centro de las dos estanterías del almacén. Dicho riesgo se produce cuando el robot manipulador se encuentra en funcionamiento y el usuario realiza la apertura de una de las puertas laterales de la estructura de acrílico para su posterior ingreso al almacén.

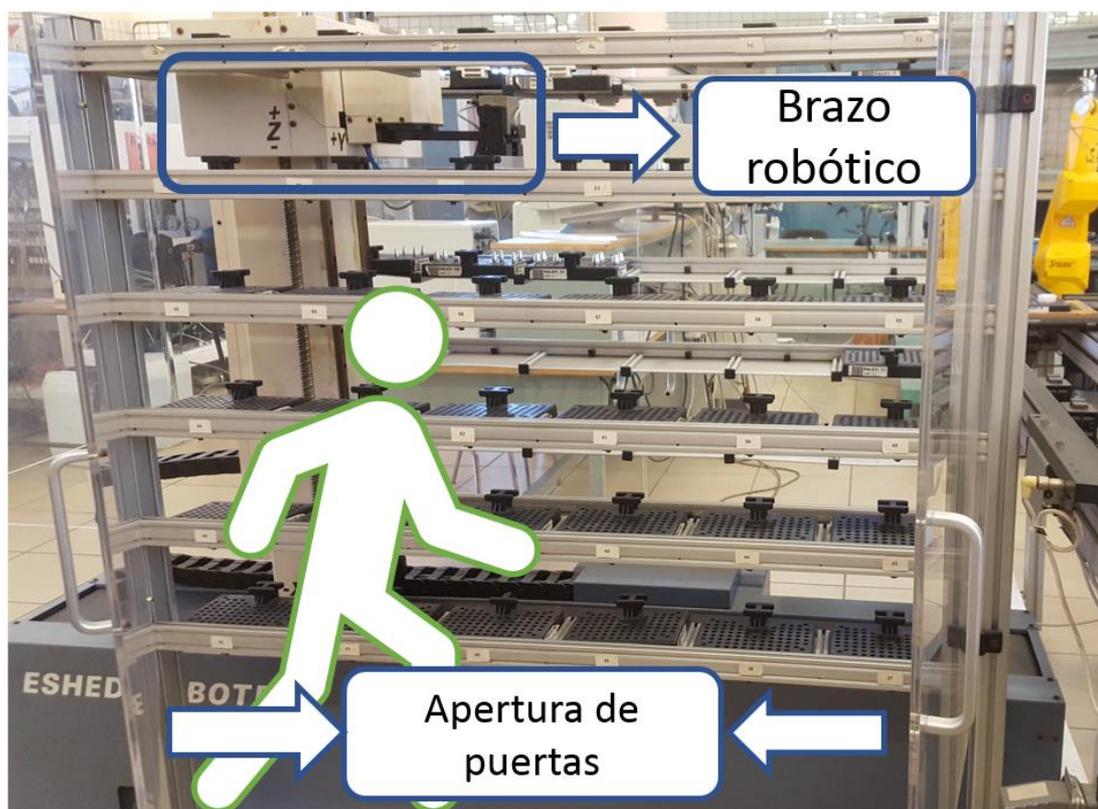


Figura 5-9. Riesgo de golpes por parte del robot manipulador del almacén robotizado.

#### 5.1.3.4 Mesa de trabajo 1

En la mesa de trabajo 1 se encuentra presente los siguientes riesgos:

**RIESGO 9.** Un alto riesgo de electrocución, ya que debajo de la mesa están instalados dispositivos y elementos eléctricos que no disponen de ninguna cubierta para su protección (PLC, módulos de E/S, tomas de alimentación, etc.) y que son alimentados con 230VAC/50Hz; estos elementos pueden causar desde quemaduras hasta lesiones irreversibles a los usuarios.

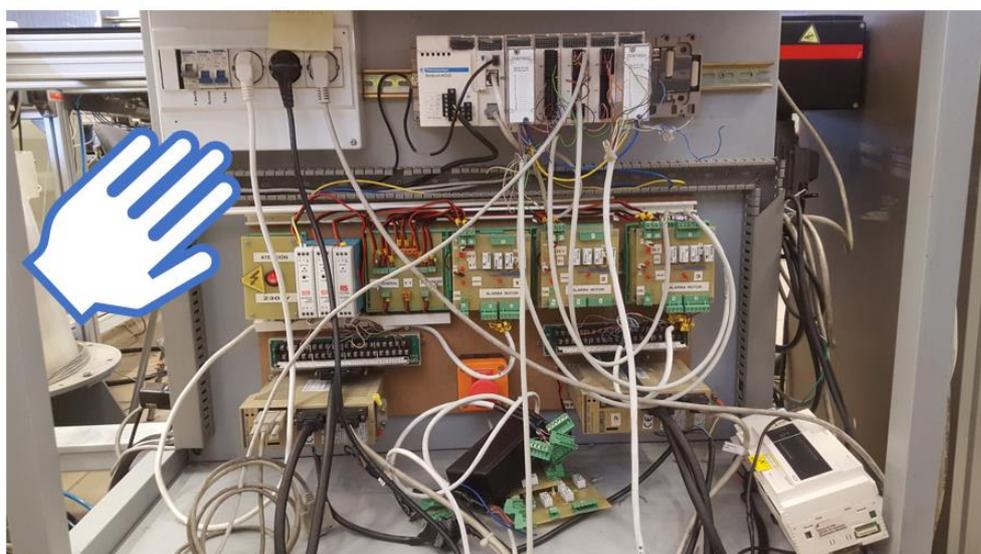


Figura 5-10. Riesgo eléctrico presente en los dispositivos eléctricos instalados en la Mesa 1.

**RIESGO 10.** Riesgo de posibles golpes por parte del robot que se encarga de la manipulación de pallets. Actualmente no se encuentra instalada ninguna protección en su estructura para evitar o minimizar la exposición a este riesgo cuando los estudiantes ingresan a la zona de operación del manipulador.

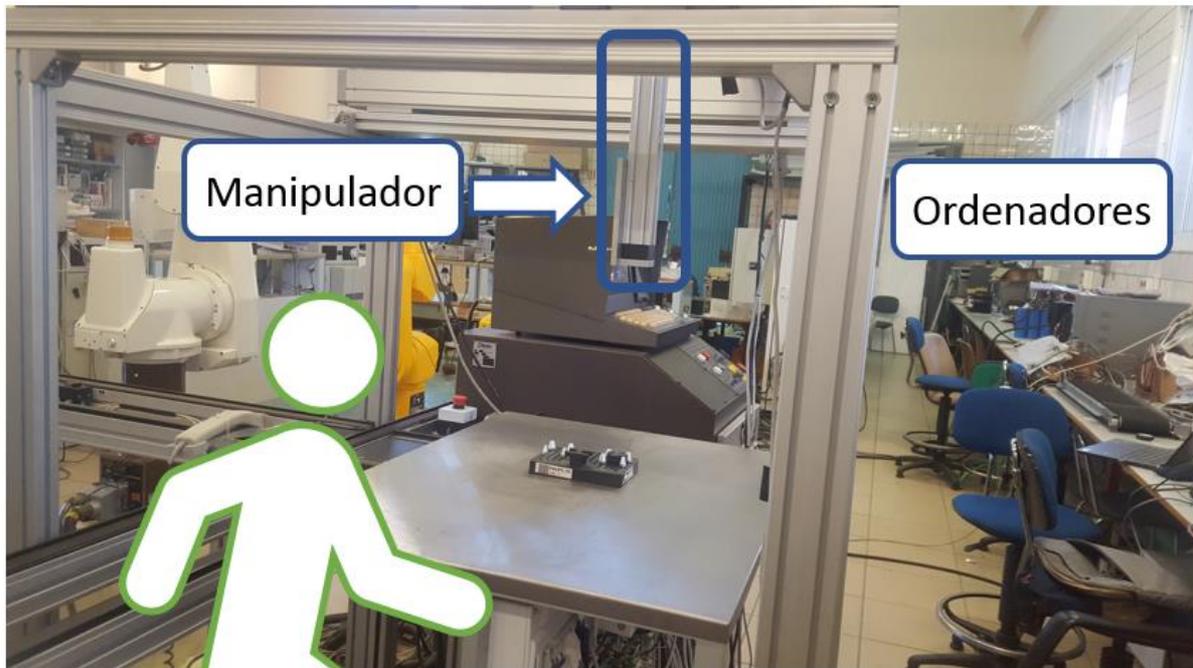


Figura 5-11. Riesgo de golpes con el manipulador de pallets ubicado en la mesa de trabajo 1.

#### 5.1.3.5 Brazo robótico SCORBOT-ER 4u

En el puesto de trabajo donde se encuentra instalado el brazo robótico SCORBOT se determinaron los siguientes riesgos:

**RIESGO 11.** Riesgo de posibles golpes por parte del robot SCORBOT. Dicho riesgo se produce cuando el brazo robótico se encuentra en funcionamiento y el usuario ingresa en el área de operación de dicho robot.



Figura 5-12. Riesgo de golpes en el área de trabajo del brazo robótico SCORBOT.

**RIESGO 12.** En la parte inferior del brazo robótico SCORBOT y al igual que en la Mesa 1, actualmente están instalados dispositivos y elementos eléctricos que no disponen de una ninguna cubierta de protección; dicho la anterior existe un riesgo de electrocución que puede afectar a los estudiantes.



Figura 5-13. Riesgo eléctrico presente en los dispositivos eléctricos ubicados en la parte inferior del puesto de trabajo del brazo robótico SCORBOT.

#### 5.1.4 Cálculo de riesgos presentes en la célula de fabricación flexible

El cálculo del nivel de prestaciones requerido (PLr) para cada uno de los riesgos identificados se lo realiza de manera individual; donde además se determinan tres parámetros importantes para su posterior evaluación:

- 1) Gravedad del riesgo (leve/normalmente reversible o grave/irreversible o muerte).
- 2) Frecuencia y duración de la exposición al posible riesgo (rara vez/exposición baja o frecuentemente/exposición larga).
- 3) Posibilidad de evitar la fuente de riesgo o minimizar el daño (evitable en determinadas circunstancias o difícilmente evitable).

##### 5.1.4.1 Cintas transportadoras

**RIESGO 1.** Para el riesgo de atrapamiento, aprisionamiento y enganche de dedos, mano o pelo del usuario; para el caso de la transmisión mecánica que se produce en los engranajes instalados en las cintas transportadoras.

**Gravedad:** Debido a la velocidad angular en los engranajes, dimensiones, diseño y a su constitución del material, y teniendo en cuenta que el atrapamiento puede ocurrir en las ruedas dentadas las lesiones que pueden afectar al usuario se consideran como reversibles con asistencia médica.

**Frecuencia:** Teniendo en cuenta que los cinco mecanismos para la elevación de las bandejas se encuentran instalados en puntos específicos del circuito formado por las cinco cintas transportadoras, permitiendo así la circulación de las bandejas. Dicho circuito, se encuentra formando un perímetro rectangular alrededor de los demás puestos de trabajo.

Dentro de las actividades de formación, los estudiantes podrán acercarse constantemente a las cintas para observar y/o manipular las bandejas, pallets o piezas.

La frecuencia y tiempo de exposición al riesgo es alta.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo se considera como evitable en determinadas circunstancias.

**RIESGO 2.** Para el riesgo de electrocución, presente en el cuadro eléctrico principal con una tensión de alimentación de 230VAC/50Hz.

**Gravedad:** La corriente eléctrica a su paso por el cuerpo humano puede producir diversas lesiones físicas (por ejemplo: quemaduras, contracciones musculares, dificultades respiratorias, paros cardiacos, caídas, etc.) hasta el fallecimiento por fibrilación ventricular. Dicho la anterior y teniendo en cuenta que los alumnos no tienen la experiencia suficiente en el manejo de equipos de media tensión y que usualmente tampoco utilizan guantes y zapatos dieléctricos, se establece el peor de los casos del riesgo por electrocución.

En el cuadro eléctrico al existir alimentación de corriente alterna de 230VAC/50Hz, la gravedad en el caso más desfavorable es la muerte.

**Frecuencia:** Actualmente todos los dispositivos eléctricos se encuentran ubicados dentro de un cuadro eléctrico que a su vez está dentro del perímetro formado por las cintas transportadoras, dificultando así el acceso al riesgo. Los estudiantes no tienen permitido el acceso a la apertura del cuadro eléctrico.

La apertura del cuadro eléctrico se realiza únicamente para las operaciones de mantenimiento por el personal capacitado, y las mismas que son llevadas a cabo 1 vez cada 5 años.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo se considera como difícilmente evitable.

**RIESGO 3.** Para el riesgo de golpes en las extremidades inferiores del usuario, en el caso de la caída de objetos como, por ejemplo: bandejas, pallets, y piezas que se encuentren sobre circuito de las bandas transportadoras.

**Gravedad:** Teniendo en cuenta que el conjunto de la bandeja, pallet y diversas piezas que se movilizan a través del circuito de las cintas transportadoras, pueden llegar a tener un peso de unos 4Kg aproximadamente.

El cálculo de la fuerza que ejerce la bandeja y pallet con piezas al caerse de alguna de las cintas en el caso más desfavorable es el siguiente:

Donde la distancia entre la cinta transportadora y el suelo es: 98cm ( $h = 0.98\text{m}$ )

La velocidad al caer es:  $v = \sqrt{2gh} = 4.38 \text{ m/s}$

La energía cinética justo antes del impacto con el suelo es:  $Ec = \frac{1}{2}mv^2 = 38.42 \text{ J}$

La fuerza media de impacto sobre el suelo es:  $F = Ec/d = 3841 \text{ N} = 391\text{Kg}_f$ ; donde  $d$  es la distancia que recorre el objeto después del impacto (1cm).

Para el cálculo de la gravedad de este riesgo, se debe considerar que los estudiantes al entrar en contacto con la célula de fabricación flexible no disponen del calzado de punta de acero para minimizar las lesiones por caída de objetos en las extremidades inferiores.

Para una fuerza de  $391\text{Kg}_f$  y al tratarse de superficies de contacto planas, la caída del conjunto de objetos

formados por una bandejas, pallet y piezas sobre un pie del estudiante se considera como reversible con atención médica.

**Frecuencia:** Dentro de las actividades de formación, los estudiantes podrán acercarse constantemente a las cintas transportadoras para observar y/o manipular las bandejas, pallets o piezas.

La frecuencia y tiempo de exposición al riesgo es alta.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo puede ser evitable en determinadas circunstancias.

**RIESGO 4.** Para el riesgo de aire comprimido presente el todo el circuito de las bandas transportadoras, esto debido a la distribución de la instalación para las electroválvulas neumáticas encargadas de la activación de los retenedores.

**Gravedad:** Teniendo en cuenta que las mangueras para las conexiones neumáticas pueden estar sometidas durante su vida útil a flexiones, golpes, erosiones, etc., pudiendo ocasionar la ruptura de estas, lo que ocasionaría un movimiento repentino de serpiente o látigo del aire comprimido que pueden afectar a zonas sensibles del usuario (ojos, heridas abiertas, oído, boca, etc.) provocando lesiones irreversibles en casos específicos; esto debido a que lo estudiantes principalmente no disponen de protecciones visuales y auditivas que pueden reducir el riesgo.

**Frecuencia:** Las instalaciones neumáticas incluyendo las mangueras para la conexión se encuentran ubicadas alrededor de todas las cintas transportadoras para el manejo de electroválvulas y retenedores.

El estudiante no tiene permitido en ninguna circunstancia la manipulación del sistema neumático. El acceso a la manipulación del sistema neumático es permitido al personal encargado de llevar a cabo su mantenimiento, y esto se lo realiza 1 vez cada 5 años.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo se considera como difícilmente evitable, debido a la rapidez con el que se propaga el riesgo.

#### 5.1.4.2 Alimentador de bandejas

**RIESGO 5.** Para el riesgo de atrapamiento y aprisionamiento de dedos y/o mano, entre el cilindro elevador de bandejas y/o la estructura del mecanismo del giro de bandejas o con la estructura de aluminio.

**Gravedad:** Para determinar la gravedad del riesgo se realiza el siguiente cálculo.

Cálculo de la fuerza que ejerce el cilindro en el caso más desfavorable:

Donde el diámetro del cilindro de elevación es: 40mm (radio = 0.02m)

$$S = \pi r^2 = 0.0004 \text{ m}^2$$

La presión de trabajo del cilindro es: 5bar

$$P = 50986 \text{ Kg}_f / \text{m}^2$$

La fuerza F aplicada por el cilindro es entonces:

$$F = P \cdot S = \left( 50986 \frac{\text{Kg}_f}{\text{m}^2} \right) \times (0.0004 \text{ m}^2) = 64 \text{ Kg}_f$$

Para una fuerza de 64Kg<sub>f</sub>, y al tratarse de superficies de contacto planas se considera que las posibles lesiones que afectan al usuario en caso de

atrapamiento de dedos y/o mano pueden ser consideradas de gravedad baja; es decir, la gravedad de las posibles lesiones pueden llegar a ser reversibles con atención media.

**Frecuencia:** Debido a que el acceso a la zona de este riesgo por atrapamiento de la máquina tenga como fin la reordenación, desbloqueo y ajuste o colocación de las bandejas, que ocurren normalmente después de que se haya producido un determinado fallo por una operación indebida (por ejemplo, fallos en la programación o mala manipulación desde el panel de control ubicado en el cuadro eléctrico de control), por situaciones que habitualmente se producen durante la formación del estudiante, hace difícil estimar datos de frecuencia y duración de la exposición al peligro.

Dicho lo anterior y teniendo en cuenta que el alimentador va a ser utilizado durante varios años por un número indeterminado de alumnos, se considerará que la frecuencia o duración de la exposición al peligro puede ser alta.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo se considera como difícilmente evitable

**RIESGO 6.** Para el riesgo de electrocución con corriente alterna de 230VAC/50Hz que existe en su propio cuadro eléctrico de control.

**Gravedad:** Teniendo en cuenta que los alumnos no tienen la experiencia suficiente en el manejo de equipos de media tensión se establece el peor de los casos del riesgo por electrocución.

En el cuadro eléctrico al existir alimentación de corriente alterna de 230VAC/50Hz, la gravedad en el caso mas desfavorable es la muerte.

**Frecuencia:** Actualmente todos los dispositivos eléctricos se encuentran ubicados dentro de un cuadro eléctrico dificultando así el acceso al riesgo. Los estudiantes no tienen permitido el acceso a la apertura del cuadro eléctrico.

La apertura del cuadro eléctrico se realiza únicamente para las operaciones de mantenimiento por el personal capacitado, y las mismas que son llevadas a cabo 1 vez cada 5 años.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo se considera como difícilmente evitable.

**RIESGO 7.** Para el riesgo de aire comprimido presente en las electroválvulas neumáticas ubicadas en el cuadro eléctrico de control, en los cilindros de giro y elevación situados en la estructura de aluminio del alimentador y en las instalación para la distribución del aire comprimido.

**Gravedad:** De igual manera que el riesgo de aire comprimido presente en las cintas transportadoras; las lesiones provocadas por este tipo de riesgo se pueden considerar como irreversibles en casos específicos.

**Frecuencia:** Como se mencionó anteriormente, la instalación neumática se encuentran dentro del cuadro eléctrico de control, dificultando de esta manera su acceso.

La apertura del cuadro eléctrico se realiza únicamente para las operaciones de mantenimiento por el personal capacitado, y las mismas que son llevadas a cabo 1 vez cada 5 años.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo se considera como difícilmente evitable.

#### 5.1.4.3 Almacén robotizado ASRS

**RIESGO 8.** Para el riesgo de posibles golpes por parte del robot manipulador cuando está en funcionamiento y que, además se encuentra situado en el centro de las dos estanterías del almacén.

**Gravedad:** Teniendo en cuenta las dimensiones del manipulador, así como también de la velocidad máxima (50m/min) con la que se puede movilizar, la gravedad del riesgo se considera como reversible con atención médica.

**Frecuencia:** El almacén robotizado cuenta con una estructura de aislamiento hecha de acrílico para evitar el acceso indebido de los usuarios; sin embargo, dispone de dos puertas a sus lados laterales para permitir la manipulación de los pallets cuando se encuentra fuera de funcionamiento; por lo tanto, se considera que la frecuencia o duración de la exposición al peligro es baja.

Los estudiantes tienen restringido el acceso al almacén para manipular los pallets. Donde el personal encargado de llevar a cabo las tareas de mantenimiento son los únicos con autorización de acceso, el mantenimiento se lo realiza 1 vez cada 5 años.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo se considera difícilmente evitable.

#### 5.1.4.4 Mesa de trabajo 1

**RIESGO 9.** Para el alto riesgo de electrocución presente en los dispositivos y elementos eléctricos que están instalados a la intemperie y que son alimentados con 230VAC/50Hz.

**Gravedad:** En el cuadro eléctrico al existir alimentación de corriente alterna de 230VAC/50Hz, la gravedad en el caso más desfavorable es la muerte.

**Frecuencia:** Teniendo en consideración que los dispositivos eléctricos donde pueden ocurrir el riesgo por electrocución se encuentran ubicados a la intemperie (no disponen de un adecuado cuadro eléctrico) debajo de la Mesa de trabajo 1, y que además los alumnos constantemente se sitúan por los ordenadores que se encuentran muy cerca de la Mesa 1, ya que les permiten controlar los puestos de trabajo de la célula. La frecuencia o duración de la exposición al peligro se considera alta.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo se considera como difícilmente evitable.

**RIESGO 10.** Para el alto riesgo de golpes por parte del manipulador que se encuentra instalado en la parte superior de la mesa de trabajo 1, y que cuenta con dos motores para que se pueda movilizar en los ejes “x”, “y” a lo largo de la estructura de aluminio prevista alrededor de la mesa.

**Gravedad:** Debido a la que la estructura de aluminio del manipulador es controlada a través de dos motores de baja potencia que actualmente no disponen de protección por sobre corriente y que, además sus movimientos no pueden llegar a ser bruscos; la gravedad puede considerarse como reversible con atención médica.

**Frecuencia:** Teniendo en cuenta que la mesa de trabajo es un paso constante para los estudiantes ya que se encuentra instalada junto a las mesas que contienen a los ordenadores que tiene comunicación con los

controladores de la célula de fabricación; la frecuencia o duración de la exposición al peligro se considera alta.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo se considera como difícilmente evitable.

#### 5.1.4.5 Brazo robótico SCORBOT-ER 4u

**RIESGO 11.** Para el riesgo de posibles golpes por parte del robot SCORBOT dentro de su área de trabajo cuando se encuentra en funcionamiento.

**Gravedad:** Teniendo en cuenta las relativamente pequeñas dimensiones del manipulador, así como también de la velocidad máxima con la que se puede movilizar, la gravedad del riesgo se considera como reversible con atención médica.

**Frecuencia:** El SCORBOT está ubicado dentro del perímetro formado por las cintas transportadoras, por tal razón la frecuencia o duración de la exposición al peligro presente en el área de operación del robot se considera como baja.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo se considera como difícilmente evitable.

**RIESGO 12.** Para el riesgo por electrocución presente en la parte inferior del brazo robótico SCORBOT y al igual que en la Mesa 1, actualmente están instalados a la intemperie dispositivos y elementos eléctricos que son alimentados con 230VAC/50Hz.

**Gravedad:** En el cuadro eléctrico al existir alimentación de corriente alterna de 230VAC/50Hz, la gravedad en el caso más desfavorable es la muerte.

**Frecuencia:** Bajo las mismas consideraciones que el riesgo de electrocución en la Mesa de trabajo 1, la frecuencia o duración de la exposición al peligro se considera alta.

**Posibilidad de evitar la fuente de riesgo:** El riesgo se considera como difícilmente evitable.

### 5.1.5 Reducción de riesgos.

En este apartado se describen las medidas seguridad que se deben aplicar para eliminar los riesgos o para reducirlos hasta un rango tolerable, donde la salud del usuario se vea lo menos afectada posible.

Las medidas de seguridad pueden implementarse en las etapas de: propuesta en fase de diseño (mejoras constructivas en la célula que eviten o reduzcan los riesgos), selección de medidas de seguridad (por ejemplo: resguardos y colocación de setas de emergencia) y por último colocación de medidas informativas sobre los riesgos identificados.

#### 5.1.5.1 Salvaguardas

Para la mesa de trabajo 1, específicamente para la reducción a tareas de mantenimiento del riesgo de golpes

por parte del manipulador de pallets se proponen dos medidas de seguridad:

La primera es la construcción de un resguardo fijo (cubierto con 4 tornillos allen) en la parte superior de la estructura de aluminio donde están montados los dos motores que se encargan del movimiento del manipulador.

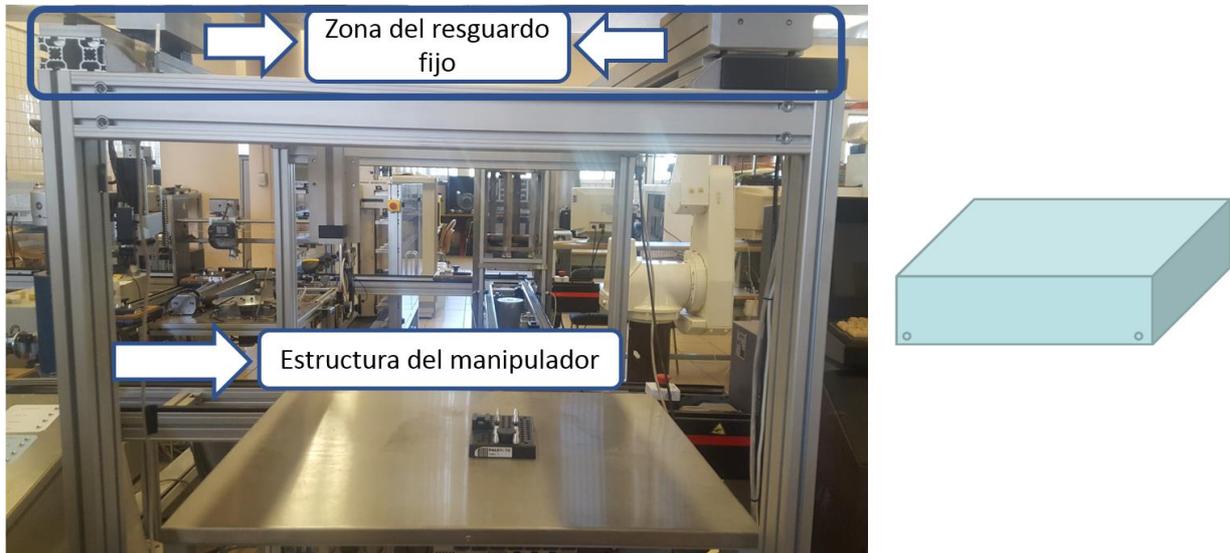


Figura 5-14. Resguardo fijo para la parte superior de la estructura de aluminio del manipulador del puesto de trabajo de la mesa 1 para la reducción del riesgo por golpes.

La segunda medida es la implementación de cuatro paneles laterales hechos de metacrilato (tres paneles fijos y uno móvil), los tres paneles fijos serán deslizables una vez que se hayan aflojado sus respectivos tornillos de seguridad. Para el diseño de los paneles de seguridad laterales se debe tener en cuenta las dimensiones desde la parte superior de la estructura que contiene al manipulador hasta la mesa donde se encuentran posicionados los pallets.

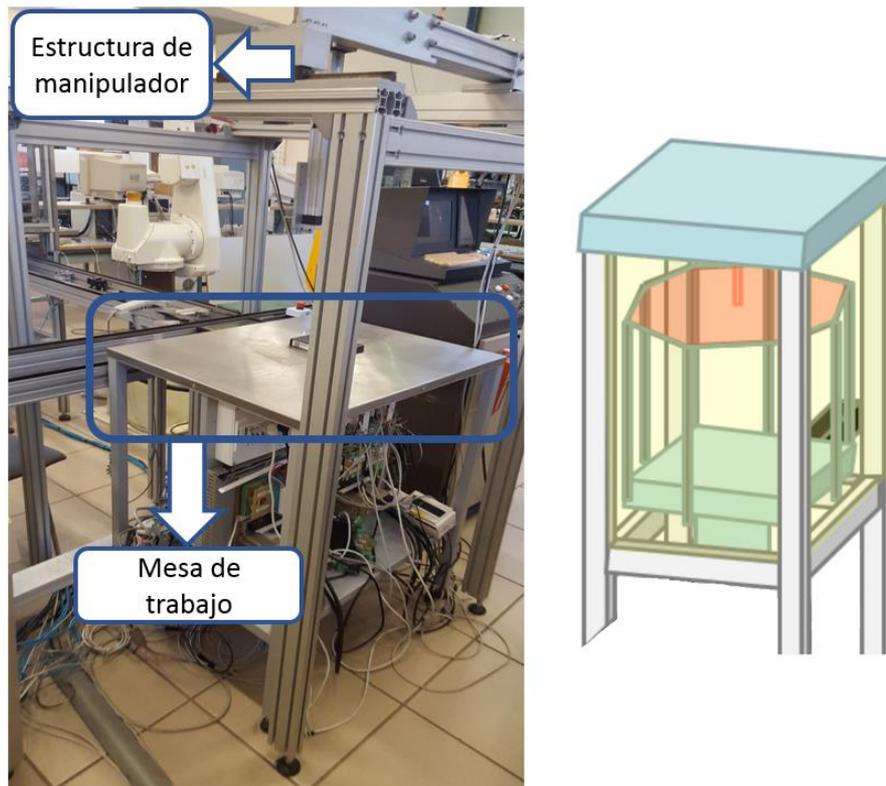


Figura 5-15. Resguardo con 4 paneles de metacrilato en las partes laterales de la estructura de aluminio del manipulador del puesto de trabajo de la mesa 1 para la reducción del riesgo por golpes.

Respecto a los riesgos eléctricos, para minimizar las posibles lesiones producidas por los riesgos de electrocución presentes en parte inferior de la mesa de trabajo 1 (véase Figura 5-10) y en la mesa de trabajo donde se encuentra actualmente el brazo robótico SCORBOT (véase Figura 5-13), se necesita la instalación de un cuadro eléctrico o pupitre de mando (para cada puesto de trabajo) con sus respectivas líneas de alimentación, con especial atención a la zona de media tensión (230VAC/50Hz); para lo cual se deberá seguir las indicaciones de las normas IEC 61439 para cuadros eléctricos de baja tensión y de la norma IEC 60204 para cuadros que forman parte integral de una determinada máquina. Las principales indicaciones a cumplir son:

- Envolventes adecuadas.
- Puesta a tierra de todas las envolventes y partes metálicas.
- Aislamiento eléctrico.
- Borneros y conexionado adecuado.
- Protección diferencial 30mA.
- Distancias.
- Sistemas de ventilación del cuadro.

Por último, para minimizar los riesgos por la utilización de aire comprimido presente de forma general en toda la célula de fabricación flexible por la distribución de las instalaciones neumáticas para las electroválvulas, retenedores y cilindros, se tiene actualmente un sistema de tuberías y conexas de mecanismos neumáticos basados en la norma ISO 13849-2 en el anexo B. Dicho sistema dispone de reguladores de presión con un ajuste máximo a 5 bar, obteniendo de esta manera una presión de trabajo considerada como baja.

Como medida adicional se han dispuesto anclajes para los tubos de aire en las zonas próximas a conexiones y derivaciones para impedir el serpenteo o latigazo de aire en caso de rotura de mangueras o liberación de tomas de aire. Existen canalizaciones cubiertas que permiten anclar los tubos a las mismas canalizaciones que hacen la función de salvaguarda.

### 5.1.5.2 Medidas complementarias

De manera general, cada uno de los puestos de trabajo de la célula de fabricación flexible cuenta con setas de emergencia en puntos estratégicos para que el estudiante afectado pueda accionarla (presionarla), deteniendo de esta manera el funcionamiento de uno o más puestos de trabajo y por ende eliminando el riesgo detectado.

### 5.1.5.3 Medidas de información de uso

Además de las instrucciones impartidas por el profesor hacia los estudiantes al inicio de la práctica sobre el manejo de equipos y dispositivos, también es necesario optar por medidas que informen al usuario los riesgos a los que está expuesto en un determinado instante del funcionamiento de la célula de fabricación flexible. Es recomendable el uso de pictogramas o señaléticas de advertencia en cada puesto de trabajo para informar al estudiante a que riesgo o riesgos está expuesto. Las medidas de información para los riesgos identificados son las siguientes:

Para el riesgo de caída de objetos desde las cintas transportadoras, como medida de indicación del riesgo es la ubicación de pegatinas en cada una de las cintas transportadoras con el objetivo de informar acerca del riesgo que se puede presentar.



Figura 5-16. Pegatina de advertencia indicando el riesgo por caída de objetos.

Para los riesgos de atrapamiento de dedos, mano o pelo del usuario presente en los cinco elevadores de bandejas (ubicados en el circuito rectangular formado por las cuatro cintas transportadoras), así como también entre el cilindro elevador y la estructura de aluminio del alimentador de bandejas se debe informar al usuario que al acceder a estas zonas puede verse afectado por varias lesiones que en el peor de los casos pueden llegar a ser irreversibles.

En el caso de que, durante el funcionamiento de los puestos anteriormente mencionados, el estudiante deba acceder a las zonas de riesgo (por ejemplo, por atasco de alguna bandeja o fallo de operación en los cuadros de control) se debe proceder de la siguiente manera:

1. Pulsar la seta de seguridad ubicada en cada puesto de trabajo.
2. Desconectar la alimentación eléctrica (interruptor ON-OFF del cuadro de control).
3. Acceder a la zona y dejarla completamente despejada.
4. Volver a conectar la alimentación eléctrica.

5. Desenclavar las setas de emergencia que fueron accionadas.
6. Realizar el rearme del puesto de trabajo.

Para la indicación del riesgo es vital el uso de pegatinas en las zonas donde puede ocasionarse algún accidente por atrapamiento.



Figura 5-17. Pegatina de advertencia indicando el riesgo de atrapamiento.

En el caso de accidentes ocasionados por golpes en las zonas de trabajo del brazo robótico del almacén de pallets, del brazo robótico SCORBOT y del manipulador de pallets ubicado en la mesa de trabajo 1, como medida de precaución está terminantemente prohibido retirar los resguardos de seguridad sino se están desarrollando tareas de mantenimiento por el personal con formación suficiente para hacerlas. Para retirar los resguardos se debe accionar a la seta de emergencia asociada al puesto de trabajo donde se llevarán a cabo las tareas, para posteriormente realizar un corte de corriente a la máquina, garantizando de esta manera el bienestar del personal de mantenimiento.

La pegatina para la indicación del riesgo por golpes en las zonas de los manipuladores es la siguiente:



Figura 5-18. Pegatina de advertencia indicando el riesgo de golpes en la zona de trabajo de los manipuladores.

Para los riesgos eléctricos presentes en los puestos de trabajo de la mesa 1, la mesa de robot SCORBOT, el cuadro eléctrico principal y del pupitre de control del alimentador de bandejas, las operaciones para la manipulación de los dispositivos y equipos eléctricos que son alimentados con una tensión media de 230VAC/50Hz se limitan a tareas de mantenimiento previo al corte de alimentación.

La indicación del riesgo por electrocución en los diferentes puestos de trabajo, se la lleva a cabo mediante el uso de pegatinas informativas.



Figura 5-19. Pegatina de advertencia indicando el riesgo de electrocución para los diferentes cuadros de control de la célula de fabricación flexible.

Para el riesgo por aire comprimido proveniente del compresor, las indicaciones son las mismas que las impuestas para el riesgo eléctrico. La pegatina a usar es la siguiente:



Figura 5-20. Pegatina de advertencia indicando el riesgo por aire comprimido de la célula de fabricación flexible.

### 5.1.6 Establecimiento de requisitos de seguridad

En esta sección se determina el PL (según la norma EN ISO 13849-1) sobre los riesgos que aún persisten dentro del funcionamiento de la célula de fabricación flexible.

En la sección 5.1.4 se evaluó a cada uno de los riesgos que pueden suceder cuando uno o más puestos de la célula estén en funcionamiento; los parámetros que se obtuvieron como resultado son: la gravedad del riesgo, la frecuencia y duración de la exposición al riesgo y la posibilidad de evitar la fuente de riesgo o minimizar el daño; estos parámetros son utilizados para calcular el PL para cada función de seguridad.

Una vez realizado el estudio para la reducción de riesgos mediante la selección de medidas de seguridad (instalación de salvaguardas y setas de emergencia) y de colocación de medidas informativas (instrucciones de uso y colocación de pegatinas); los riesgos que aún existen son los que se detallan en el apartado siguiente.

A modo de resumen, la Tabla 5-1 muestra los riesgos eliminados en las etapas anteriores y los riesgos que aún persisten dentro de los puestos de trabajo de la célula.

Tabla 5-1. Detalle de los riesgos existentes y eliminados en la célula de fabricación flexible.

TIPO	UBICACIÓN	ESTADO	OBSERVACIONES
RIESGO 1: Atrapamiento.	Cintas transportadoras.	Existente.	Necesario calcular el PL.
RIESGO 2: Eléctrico.	Cintas transportadoras.	Eliminado.	Uso de cuadro eléctrico.
RIESGO 3: Golpes.	Cintas transportadoras.	Existente.	Necesario calcular el PL.
RIESGO 4: Aire comprimido.	Cintas transportadoras.	Eliminado.	Uso de presión de trabajo baja.
RIESGO 5: Atrapamiento.	Alimentador de bandejas.	Existente.	Necesario calcular el PL.
RIESGO 6: Eléctrico.	Alimentador de bandejas.	Eliminado.	Uso de pupitre de control.
RIESGO 7: Aire comprimido.	Alimentador de bandejas.	Eliminado.	Uso de presión de trabajo baja.
RIESGO 8: Golpes.	Almacén robotizado.	Existente.	Necesario calcular el PL.
RIESGO 9: Eléctrico.	Mesa de trabajo 1.	Eliminado.	Uso de cuadro eléctrico.
RIESGO 10: Golpes.	Mesa de trabajo 1.	Eliminado.	Uso de paneles y salvaguarda.
RIESGO 11: Eléctrico.	Mesa del SCORBOT.	Eliminado.	Uso de cuadro eléctrico.
RIESGO 12: Golpes.	Mesa del SCORBOT.	Existente.	Necesario calcular el PL.

5.1.6.1 Cálculo del PL requerido

El cálculo del PL para cada uno de los riesgos detectados y aún existentes se detalla en las siguientes figuras. Para el RIESGO 1:

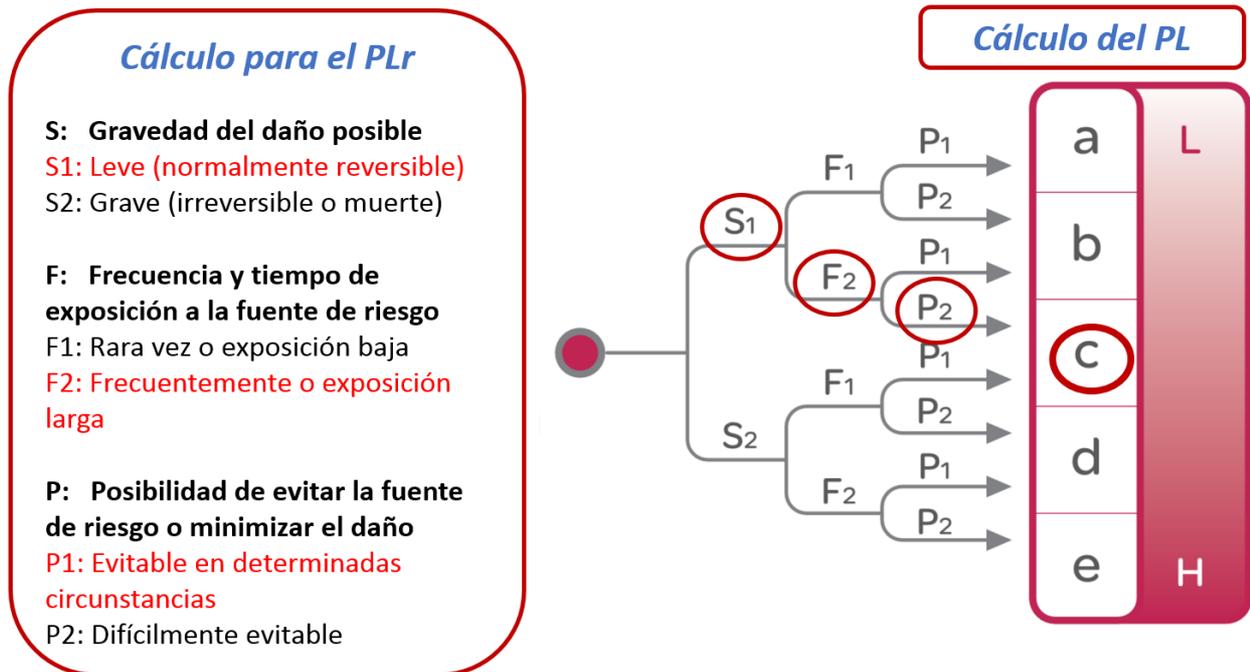


Figura 5-21. PL requerido para el riesgo de atrapamiento en los elevadores de las cintas transportadoras.

Para el RIESGO 3:

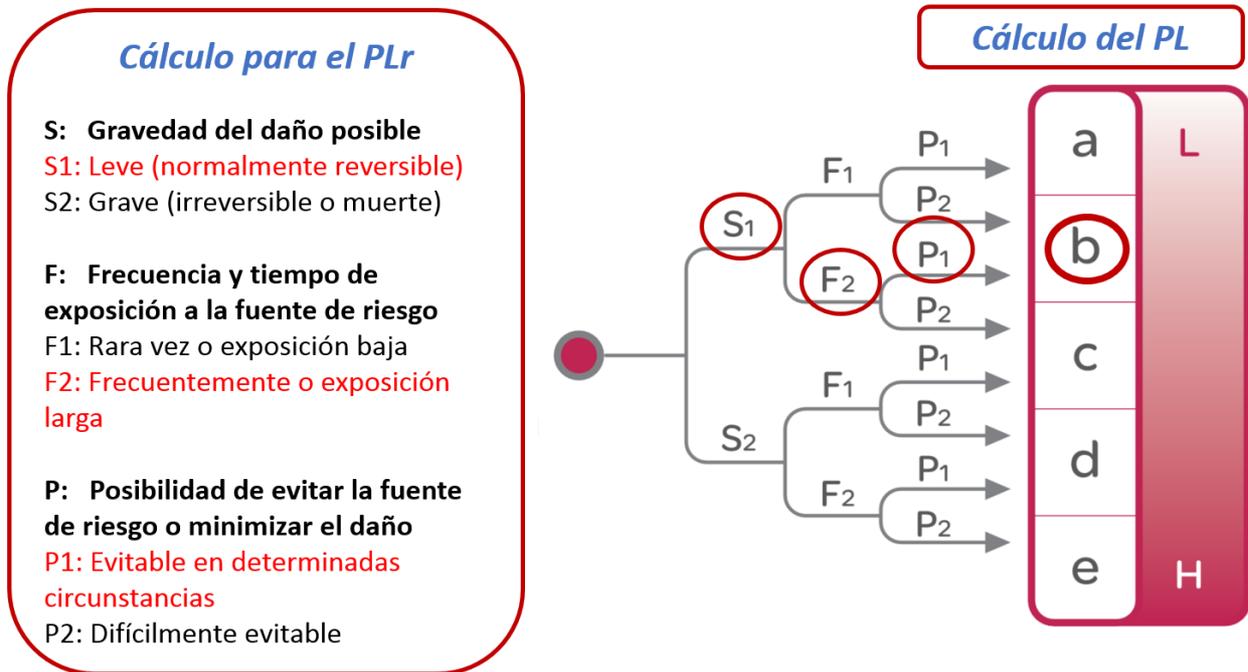


Figura 5-22. PL requerido para el riesgo de golpes por caída de objetos desde las cintas transportadoras.

Para el RIESGO 5:

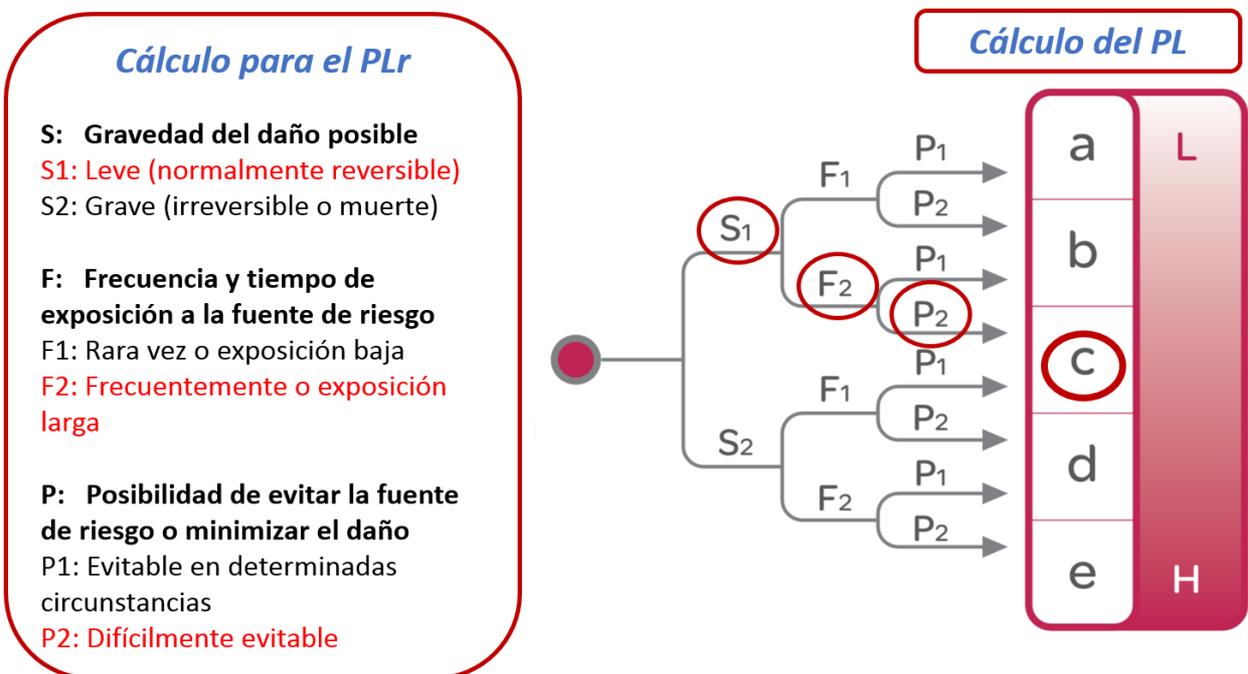


Figura 5-23. PL requerido para el riesgo de atrapamiento o aprisionamiento entre el cilindro elevador y la estructura de aluminio del alimentador de bandejas.

Para el RIESGO 8:

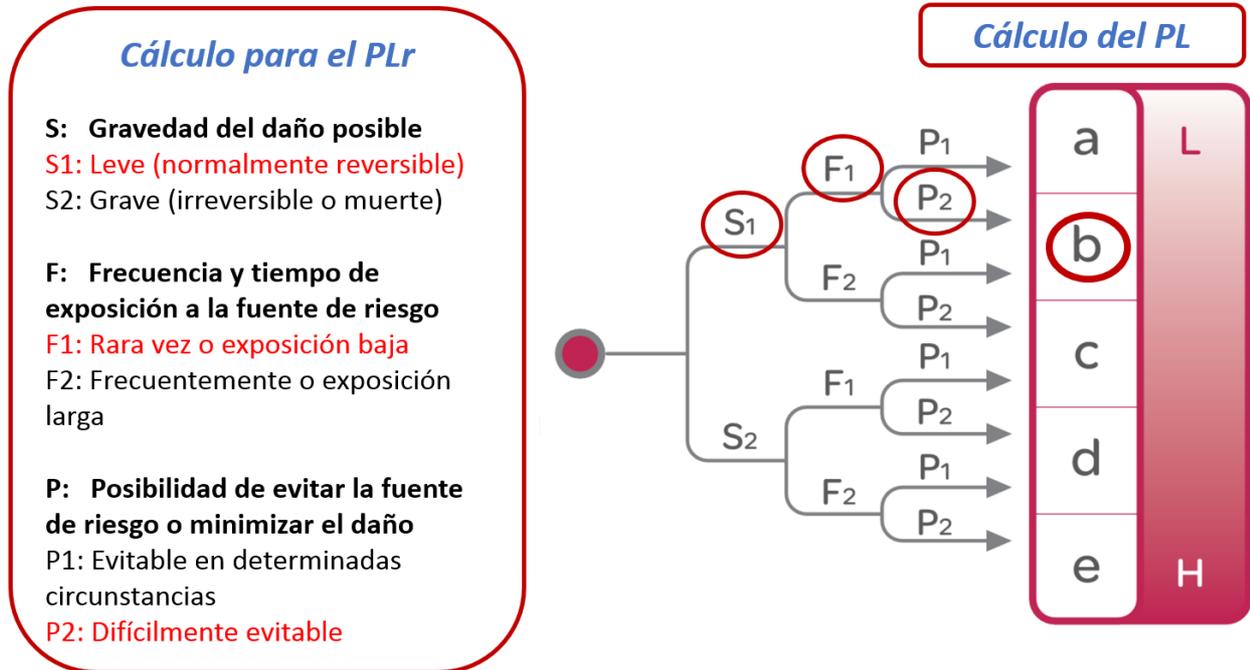


Figura 5-24. PL requerido para el riesgo de golpes por parte del brazo robótico ubicado en medio de las dos estanterías del almacén robotizado.

Para el caso del RIESGO 10, con la instalación de los paneles de seguridad se reduce la frecuencia a la exposición del riesgo a baja, y teniendo en cuenta que la zona de trabajo del manipulador es un área para la manipulación de pallets, el estudiante tendrá acceso a dicha zona mediante el panel lateral móvil.

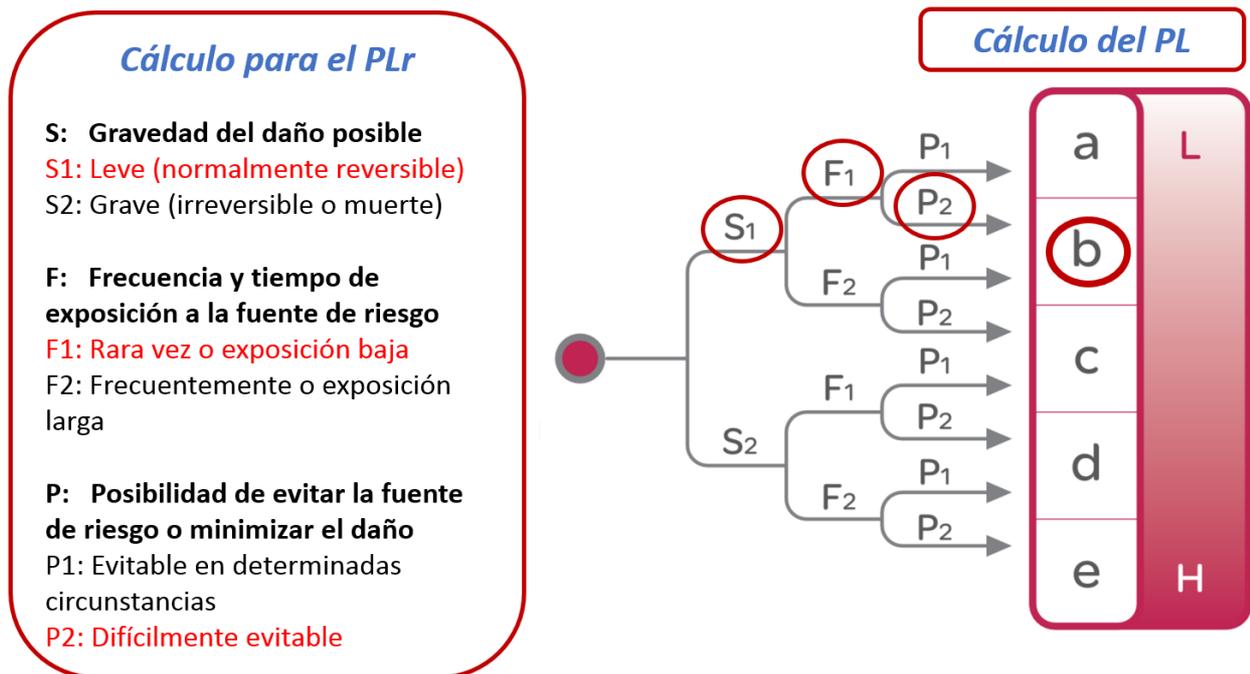


Figura 5-25. PL requerido para el riesgo de golpes por parte del manipulador de pallets instalado en la mesa 1.

Para el RIESGO 12:

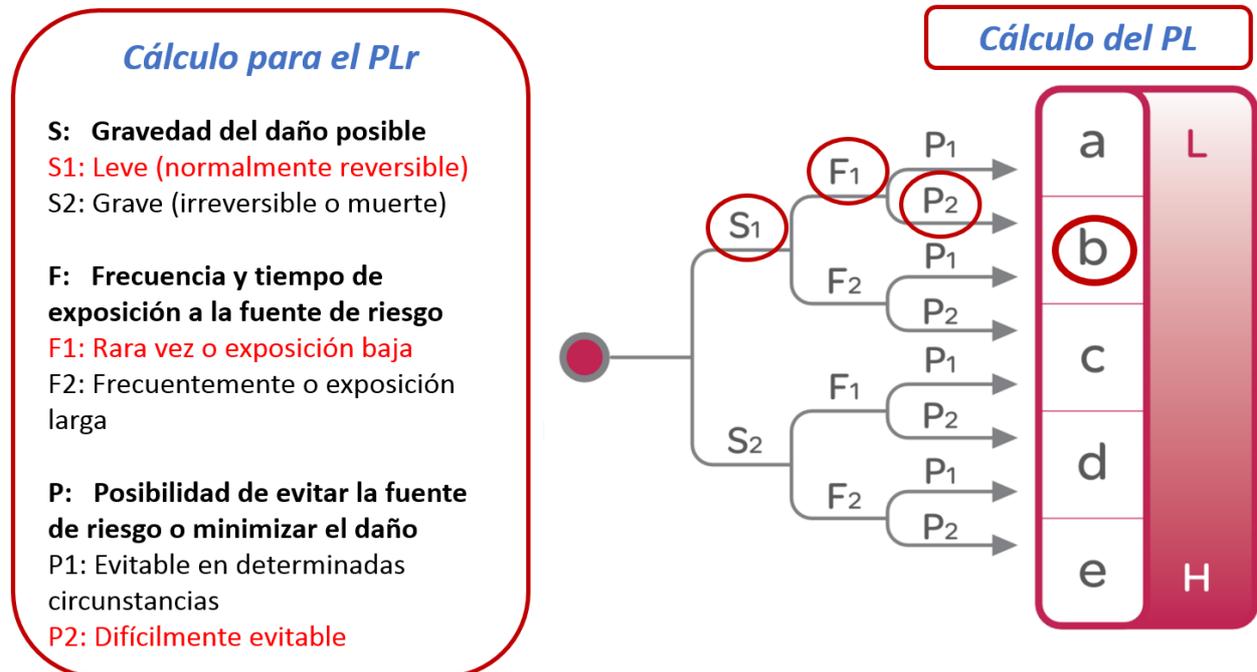


Figura 5-26. PL requerido para el riesgo de golpes por parte del brazo robótico SCORBOT.

### 5.1.6.2 Diseño de la seguridad funcional

La célula de fabricación básicamente tiene una forma rectangular, dicho de otra manera, sus puestos de trabajo están distribuidos de tal manera que forman un rectángulo. En la Figura 5-27 se puede observar que el contorno del rectángulo viene definido claramente por las 4 cintas transportadoras, teniendo en la parte externa a los puestos de trabajo de la mesa 1 [1], el alimentador de bandejas con su cuadro eléctrico [2 y 3], y el almacén robotizado [6], mientras que en la parte interna están, el cuadro eléctrico principal [5], la mesa giratoria y la cinta transportadora 5 [4] y la mesa de trabajo del SCORBOT [7].

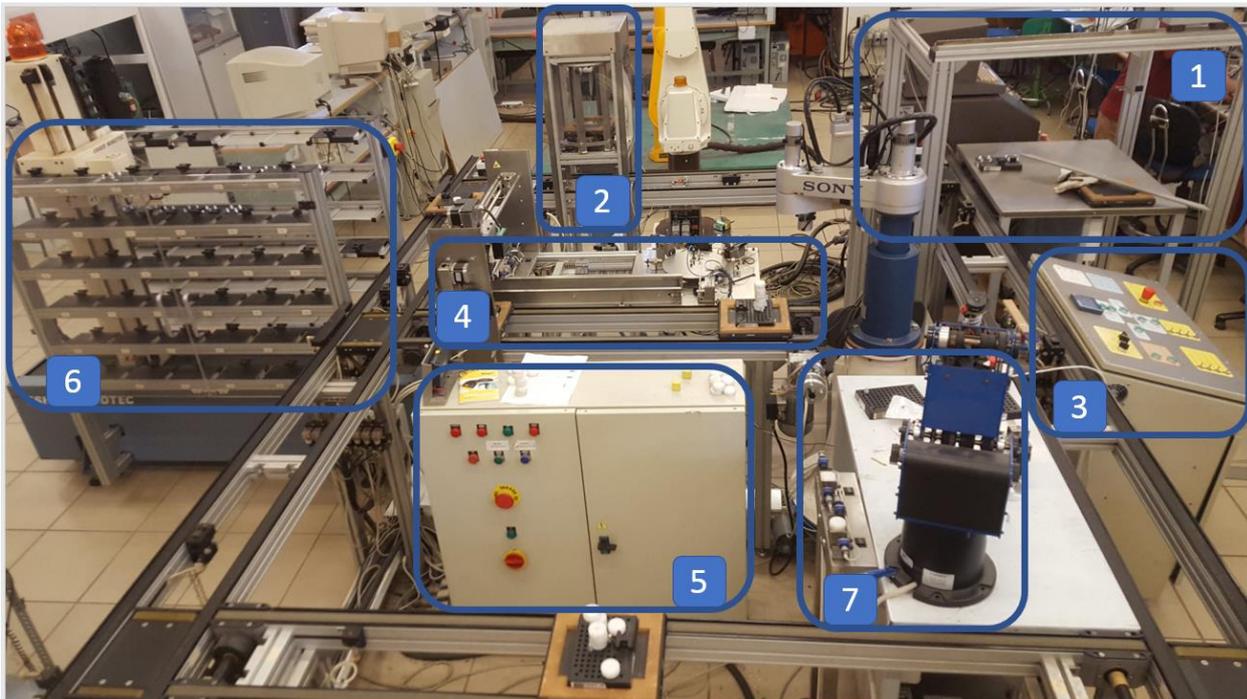


Figura 5-27. Puestos de trabajo de la célula de fabricación flexible.

Aprovechando la distribución de los puestos de trabajo y una vez identificados todos los posibles riesgos; se propone diseñar un perímetro de seguridad compuesto por quince tapices de seguridad para que los estudiantes no puedan acceder a las zonas donde existe peligro de lesiones o incluso muerte en el caso de electrocución; es decir, cuando el estudiante entre en contacto con uno de los tapices inmediatamente los puestos de trabajo deberán dejar de funcionar. Las dimensiones de los tapices se han elegido teniendo en cuenta las medidas típicas que se pueden encontrar en el mercado, siendo sus medidas de 500 x 500 mm y de 750 x 500 mm.

Como se puede observar en la Figura 5-28, los tapices de seguridad restringen el acceso a los puestos de trabajo de las cintas transportadoras, el alimentador de bandejas, la mesa de trabajo del brazo robótico SCORBOT, el cuadro eléctrico principal y la mesa giratoria; eliminando de esta manera los siguientes riesgos:

Para las cintas transportadoras:

- Golpes en las extremidades inferiores por caída de objetos desde las cintas.
- Atrapamiento o aplastamiento en los cinco elevadores instalados sobre las cintas transportadoras.
- Electrocutión en el cuadro eléctrico principal.
- Riesgo por aire comprimido distribuido en el circuito de las cintas transportadoras.

Para el alimentador de bandejas:

- Riesgo de atrapamiento y aprisionamiento entre el cilindro elevador y la estructura de aluminio.

Para la mesa de trabajo del SCORBOT-ER 4u:

- Golpes a los estudiantes por parte del robot SCORBOT cuando se encuentra en funcionamiento.

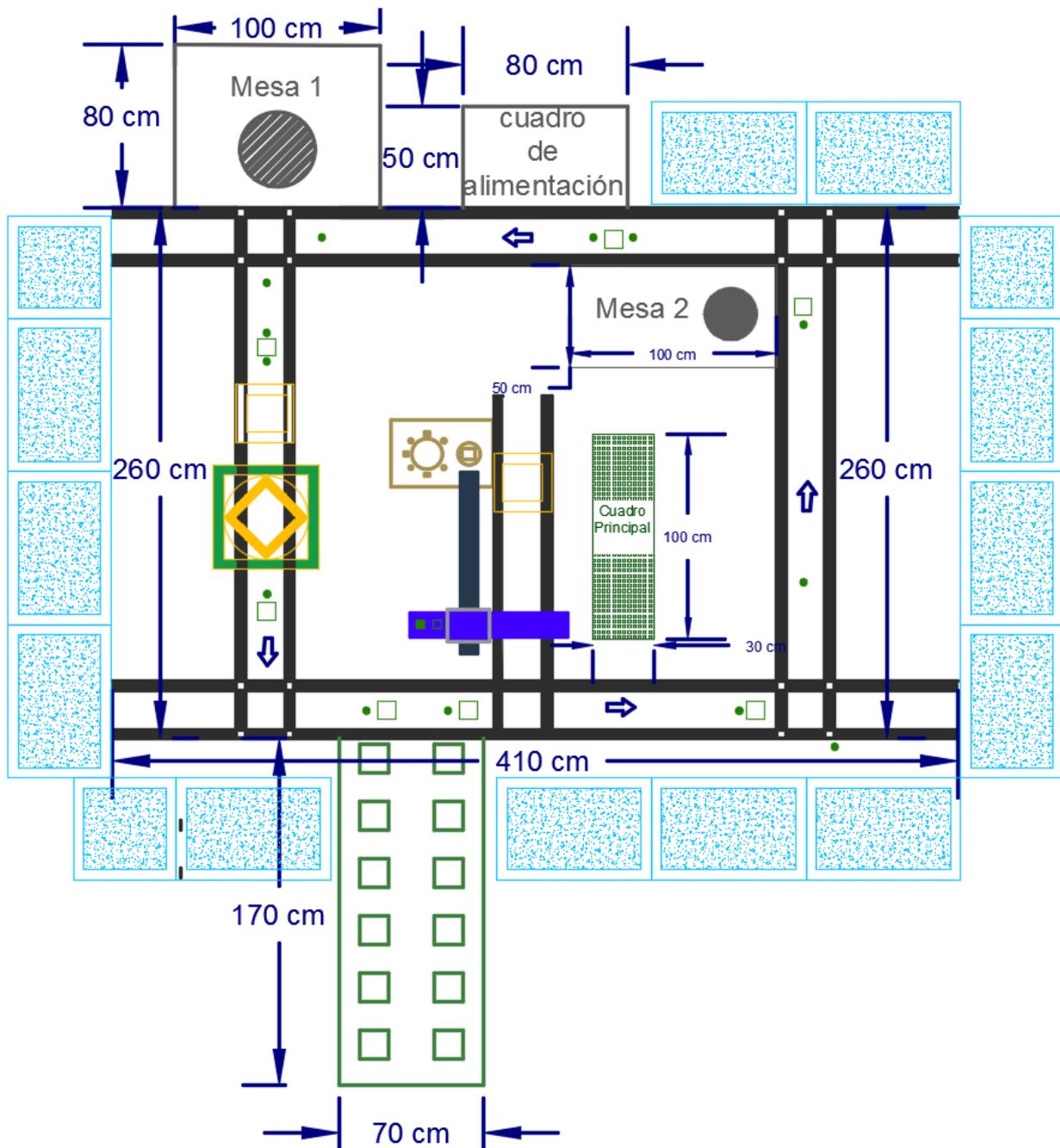


Figura 5-28. Diseño del perímetro de seguridad alrededor de la célula de fabricación flexible.

Con la implementación del perímetro de seguridad es necesario retirar los equipos (brazos robóticos, y controlador) que se encuentran junto a la célula de fabricación flexible, para que tanto el profesor como los estudiantes puedan movilizarse sin ningún inconveniente y no provocar paros repentinos en el funcionamiento de la célula debido al espacio reducido entre la célula y el resto de los equipos que se encuentran instalados en el laboratorio. El primer robot se encuentra empotrado junto a la cinta 2, el otro robot está instalado cerca del alimentador de bandejas en la cinta 4, y finalmente el controlador está junto al puesto de trabajo de mesa 1.

No es pertinente colocar tapices de seguridad alrededor de la mesa de trabajo 1 y del cuadro de control de la alimentador de bandejas debido a la alta concurrencia de los estudiantes a estas zonas, ya que como parte de su formación pueden interactuar con el panel de control dispuesto para el manejo de las tareas del alimentador de bandejas, así como también, los estudiantes deben realizar tareas de programación, control y monitoreo de los puestos de trabajo mediante el uso de los ordenadores que se encuentran frente a las zonas anteriormente mencionadas.

Para la eliminación del riesgo de golpes por parte del robot manipulador situado en el centro de las dos estanterías del almacén de pallets, y teniendo en cuenta que este riesgo se produce cuando el usuario realiza la apertura de cualquiera de las dos puertas de acceso instaladas en las partes laterales del almacén, se propone la instalación de contactos magnéticos codificados (uno en cada puerta), con el objetivo de cortar la alimentación del almacén en funcionamiento si se detecta la apertura de una de las puertas de acceso a los pallets.

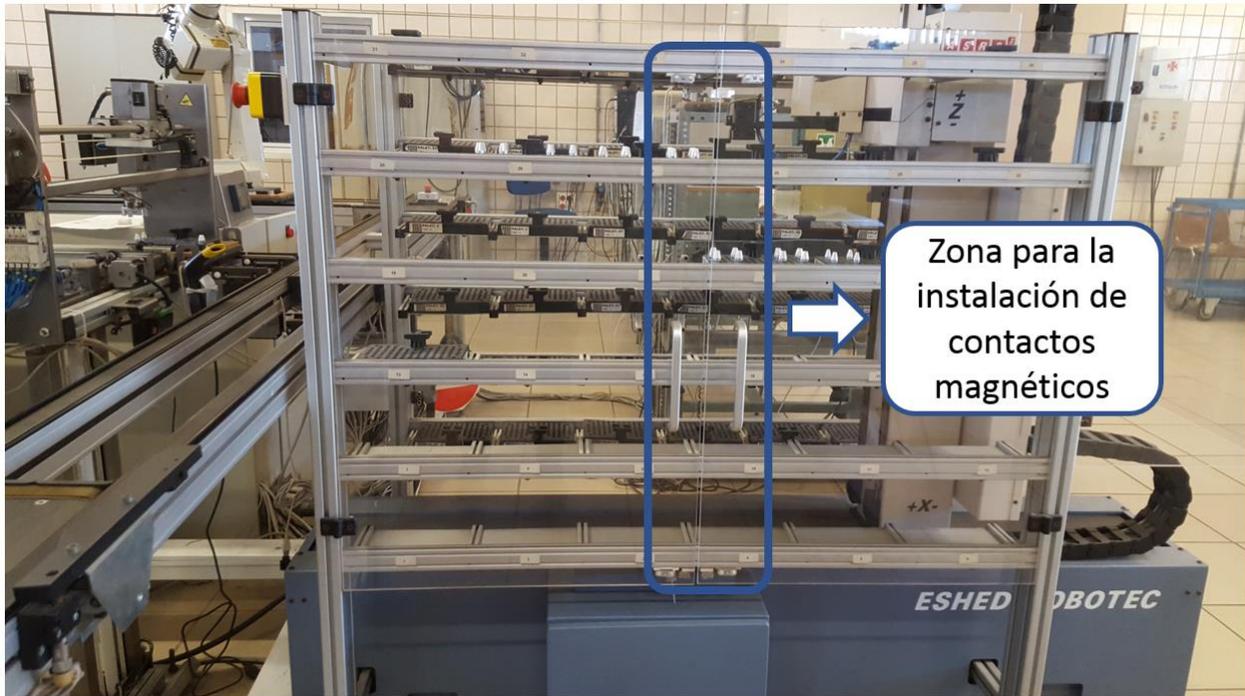


Figura 5-29. Zona para la instalación de contactos magnéticos en la una de las puerta laterales del almacén robotizado.

Bajo las mismas condiciones que las del almacén, se elimina el riesgo de golpes por parte del manipulador de pallets de la mesa de trabajo 1, con la instalación de contactos magnéticos codificados en el panel de seguridad móvil.

Con fines de formación del estudiante, el alimentador de bandejas puede realizar sus tareas funcionales (alipar y girar bandejas) sin la necesidad de que las cintas transportadoras estén en funcionamiento; es decir, que cuando el perímetro de seguridad formado por los tapices no este en funcionamiento y se requiera la puesta en marcha únicamente del alimentador de bandejas, el riesgo por atrapamiento entre el cilindro elevador y la estructura de aluminio seguirá presente. En este caso para minimizar el riesgo se hace uso de los dos sistemas mecánicos formados con 4 interruptores de seguridad (2 a la entrada y 2 a la salida del alimentador) para detectar la intrusión de dedos, manos y/ brazo del estudiante.

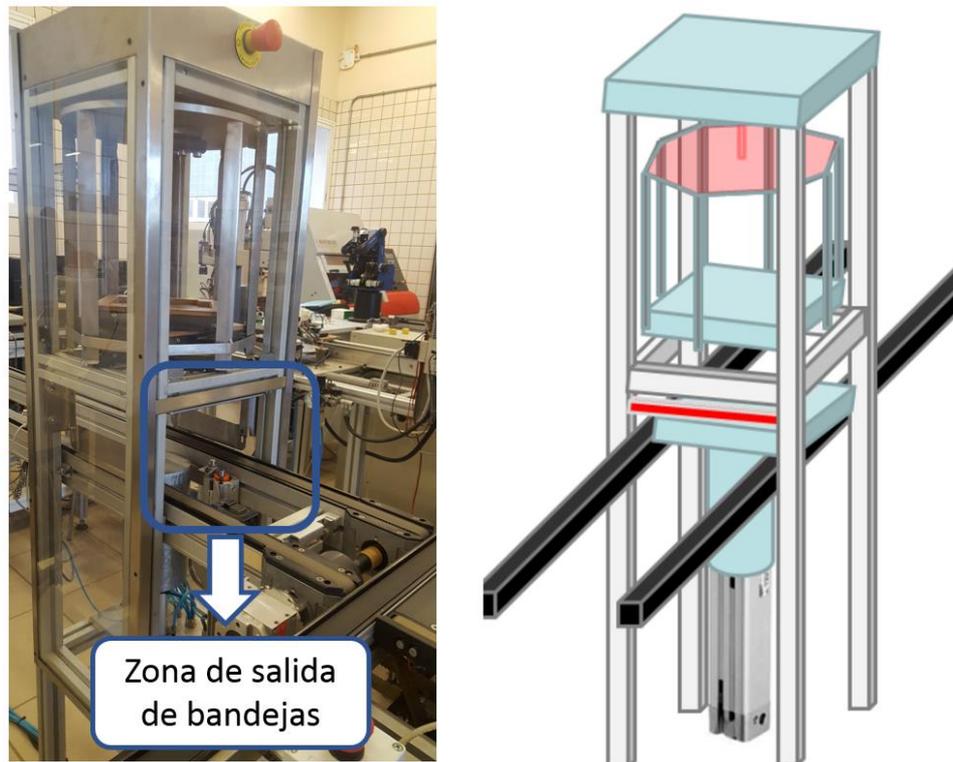


Figura 5-30. Zona para la instalación de barreras inmateriales a la salida del alimentador de bandejas.

### 5.1.7 Diseño de la seguridad funcional

Para definir las funciones de seguridad requeridas para la célula de fabricación flexible lo más recomendable es dividir a cada una de ellas en bloques independientes; usualmente se realiza una descomposición en subsistemas para la entrada, la lógica y la salida que pueden ser, por ejemplo, interruptor - relé de seguridad - contactores.



Figura 5-31. Subsistemas para establecer una función de seguridad.

Para los dos niveles de PL = “c” y los dos otros cuatro niveles de PL = “b”, y teniendo en cuenta las categorías descritas en la Tabla 3-8, se define la estructura de la categoría 1 para cada una de las funciones de seguridad de la célula de fabricación flexible.

**5.1.7.1 Elección de los componentes para el sistema de seguridad de la célula de fabricación flexible**

Mediante la estructura de la Figura 3-7, para los riesgos 1, 3, 5, 8, 10 y 12 presentes en los puestos de trabajo de la célula se definen los siguientes componentes:

**Dispositivos de entrada:** 15 tapices de seguridad, 4 interruptores de seguridad, 2 pares de contactos magnéticos y 8 setas de emergencia,

Los 15 tapices son para el perímetro de seguridad alrededor de la célula, los 4 interruptores de seguridad se encuentran instalados actualmente en el alimentador de bandejas, los contactos magnéticos son para las puertas del almacén robotizado y de la mesa de trabajo 1. Actualmente las setas de emergencia se encuentran instaladas en los puestos de trabajo, y se distribuyen de la siguiente manera: 4 para el circuito de cintas transportadoras, 1 para la mesa de trabajo 1, 1 ubicada en el almacén, 1 en la estructura del alimentador de bandejas y la última en la mesa de trabajo del SCORBOT.

**Dispositivos lógicos:** Un relé de seguridad (con tres canales).

Los tapices de seguridad se los conectan en cascada mediante sus conectores, usualmente con un máximo de 30 tapices para determinados relés de seguridad (dependiendo del fabricante). Dichos tapices conectados en cascada necesitan usar 2 canales del relé de seguridad para su funcionamiento.

**Dispositivos de salida:** Como dispositivos de salida se establecen contactores, los mismos que se encargan del corte de la alimentación de tensión en los puestos de trabajo de la célula para eliminar o minimizar los riesgos generados.

En total se disponen de 29 funciones de seguridad para la eliminación y reducción de los posibles riesgos que se pueden presentar durante el funcionamiento de uno o más puestos de trabajo de la célula de fabricación flexible. Los esquemas para las cada una de las funciones se muestran a continuación.

Esquema para la función de seguridad de los tapices de seguridad:



Figura 5-32. Función de seguridad para los tapices de seguridad.

Esquema para la función de seguridad de los interruptores de seguridad:



Figura 5-33. Función de seguridad para los interruptores de seguridad.

Esquema para la función de seguridad de los contactos magnéticos:



Figura 5-34. Función de seguridad para los contactos magnéticos.

Esquema para la función de seguridad de las setas de emergencia:



Figura 5-35. Función de seguridad para las setas de emergencia.

El esquema eléctrico (formado por el relé de seguridad, tapices de seguridad y los contactores) para la función de seguridad formada por los 15 tapices de seguridad se muestra en la Figura 5-36, donde se puede apreciar que cada uno de los tapices (SM, en el diagrama) están conectados en serie mediante los conectores BU y BN.

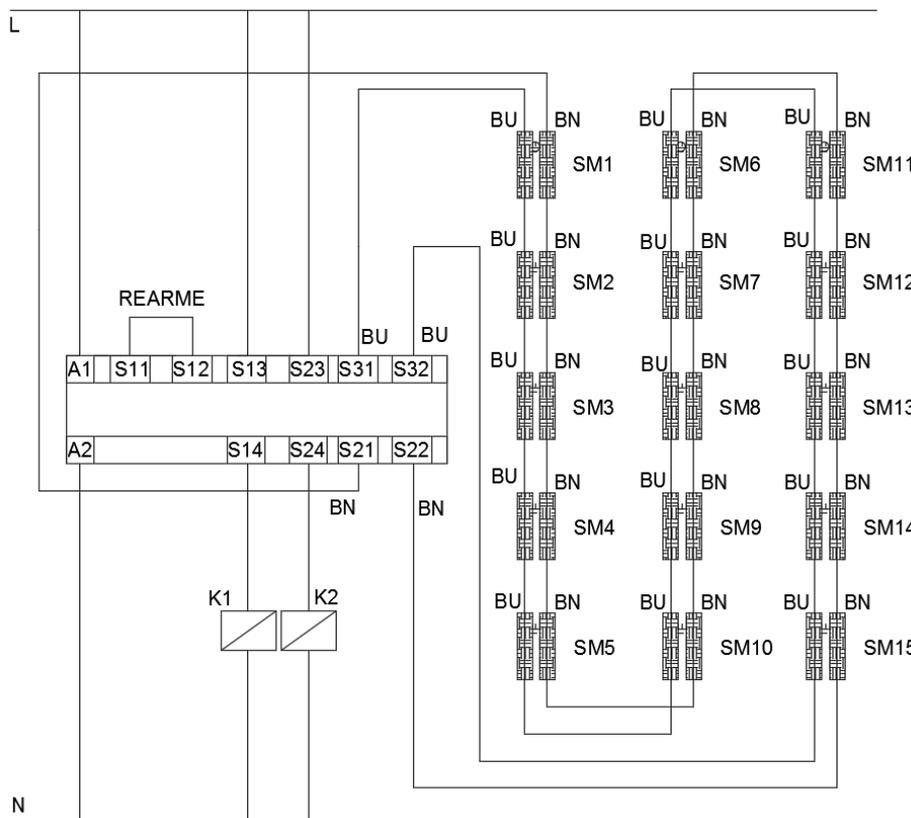


Figura 5-36. Esquema eléctrico para función de seguridad con los 15 tapices.

Para los esquemas eléctricos referentes a las funciones de seguridad de los interruptores de seguridad, contactos magnéticos y las setas de emergencia se requiere verificar las conexiones que especifican los fabricantes para cada uno de los elementos.

Los dispositivos y elementos eléctricos encargados del sistema de seguridad funcional de la célula de fabricación flexible deberán ser instalados dentro de un cuadro eléctrico con todas las medidas de seguridad según las normas IEC 61439 y la norma IEC 60204. La Figura 5-37 muestra la ubicación del cuadro de seguridad dentro del esquema de la célula.

El cuadro de seguridad está ubicado junto al pupitre de control del alimentador de bandejas, por lo cual se puede aprovechar las conexiones eléctricas para la alimentación de tensión de 230VAC/50Hz; además el cuadro dispondrá de un pulsador para el rearme del sistema de seguridad siempre que se verifique que no existe ningún riesgo al arrancar los puestos de trabajo.

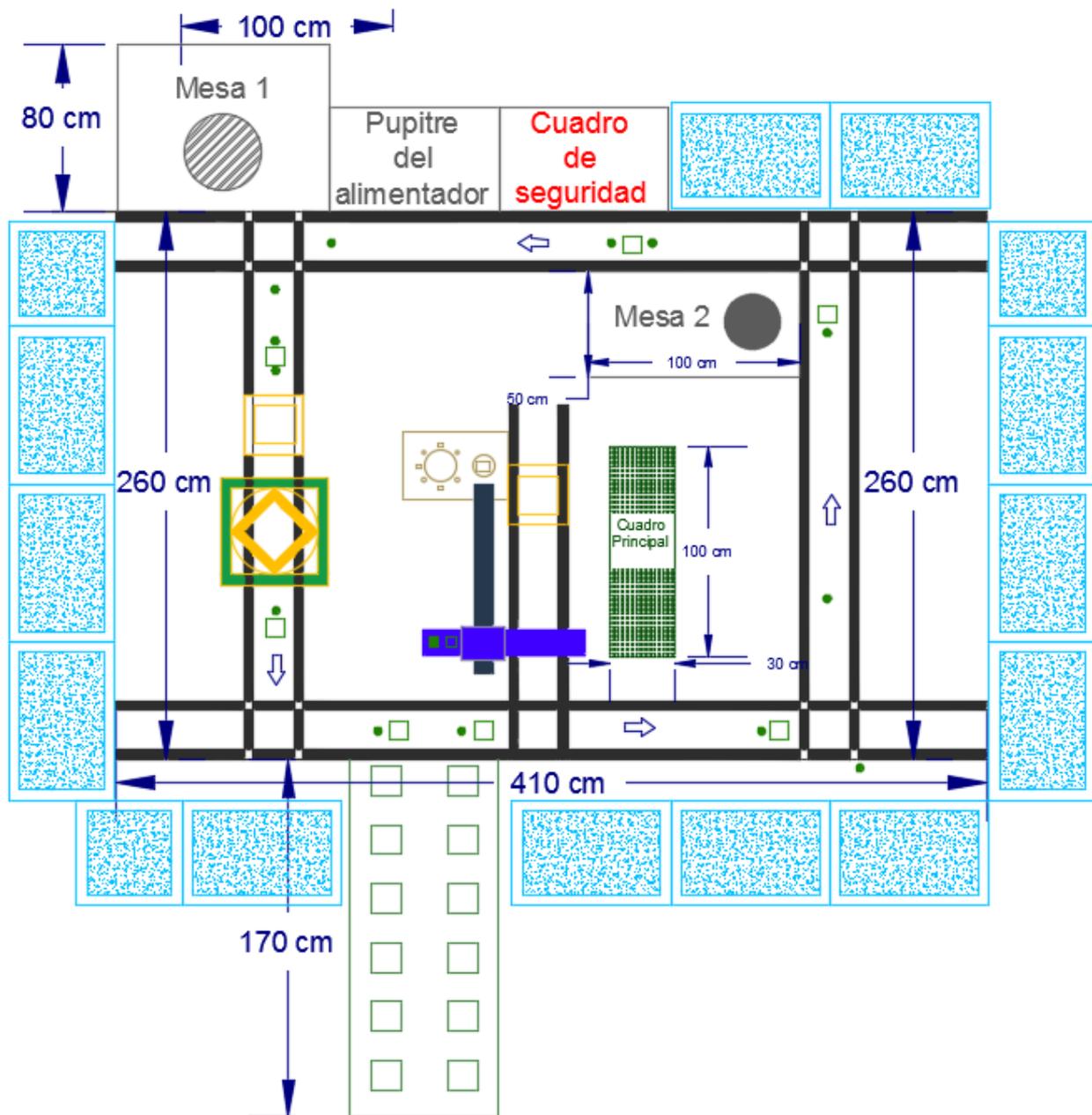


Figura 5-37. Ubicación del cuadro de seguridad dentro del esquema de la célula de fabricación flexible.

**5.1.7.2 Verificación de la seguridad funcional de la célula de fabricación flexible**

Para la verificación o validación del nivel de prestaciones, el PL de cada una de las distintas funciones de seguridad tiene que ser igual o superior al PLr requerido ( $PLr \leq PL$ ); para llevar a cabo la verificación es necesario determinar el MTTFD (tiempo medio hasta fallo peligroso) de cada bloque, su punto de partida es el valor  $B_{10d}$  (promedio de ciclos hasta que el 10% de los componentes sufre un fallo peligroso), el mismo que es parámetro proporcionado por los fabricantes de los componentes que para este caso es Schneider Electric.

El MTTFD total de cada función de seguridad viene dado por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{MTTFD_{TOTAL}} = \frac{1}{MTTFD_{ENTRADA}} + \frac{1}{MTTFD_{LOGICA}} + \frac{1}{MTTFD_{SALIDA}}$$

El cálculo del MTTFD total para la función de seguridad con tapices de seguridad es el siguiente:

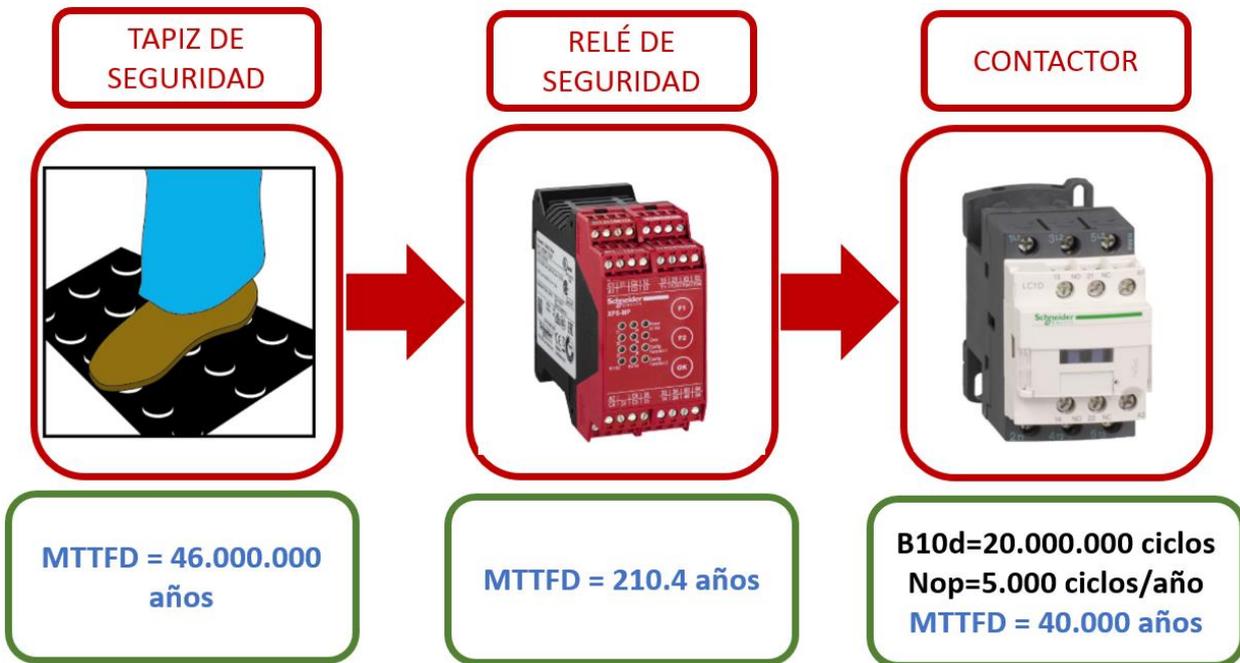


Figura 5-38. Cálculo del MTTFD de cada bloque para la función de seguridad con tapices de seguridad.

Se obtiene:

- $MTTFD_{TOTAL} = 209$  años, considerado como un nivel alto.
- La cobertura de diagnóstico DC = NULA.

Para la función de seguridad de los interruptores de seguridad, el cálculo del MTTFD es el siguiente:

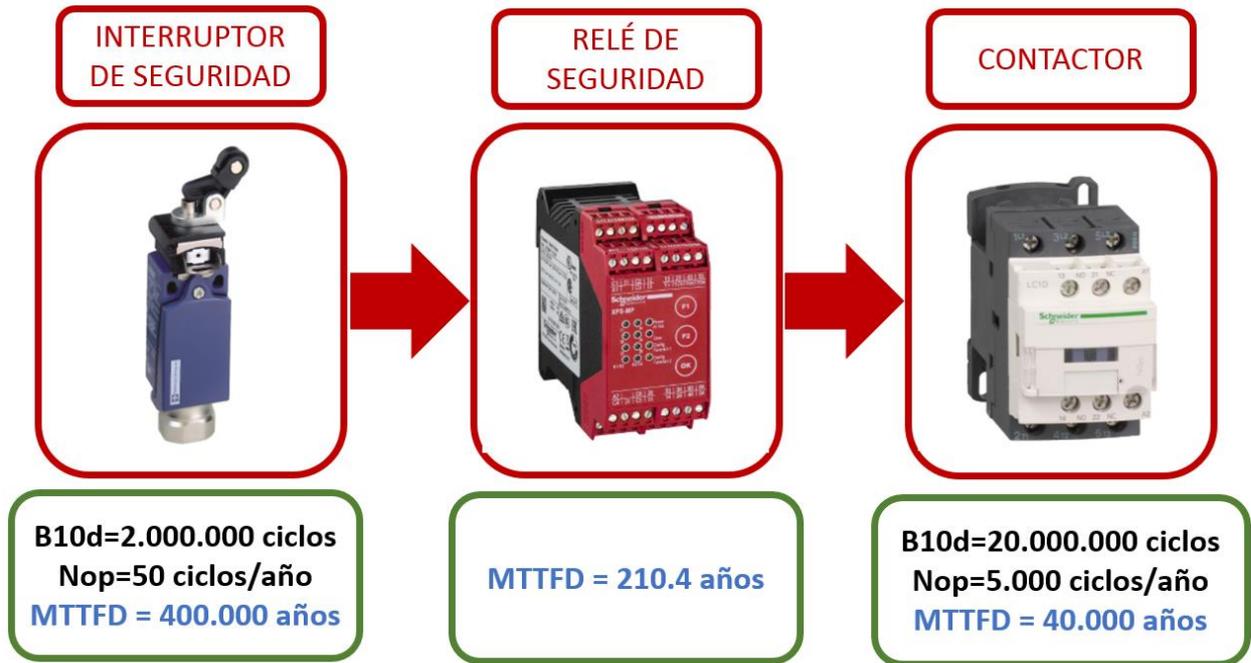


Figura 5-39. Cálculo del MTTFD de cada bloque para la función de seguridad con interruptores de seguridad.

Se obtiene:

- $MTTFD_{TOTAL} = 209$  años, considerado como un nivel alto.
- La cobertura de diagnóstico DC = NULA.

El cálculo del MTTFD total para la función de seguridad con los contactos magnéticos es el siguiente:

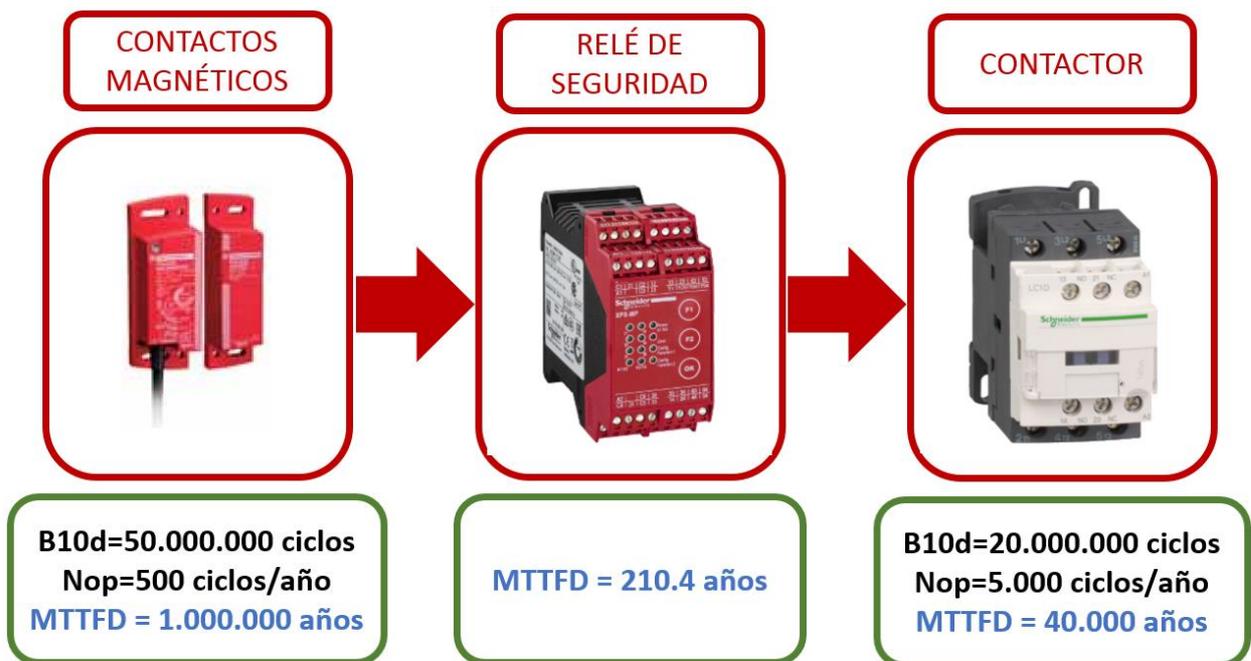


Figura 5-40. Cálculo del MTTFD de cada bloque para la función de seguridad con contactos magnéticos.

Se obtiene:

- $MTTFD_{TOTAL} = 209$  años, considerado como un nivel alto.
- La cobertura de diagnóstico DC = NULA.

Para la función de seguridad de las setas de emergencia, el cálculo del MTTFD es el siguiente:

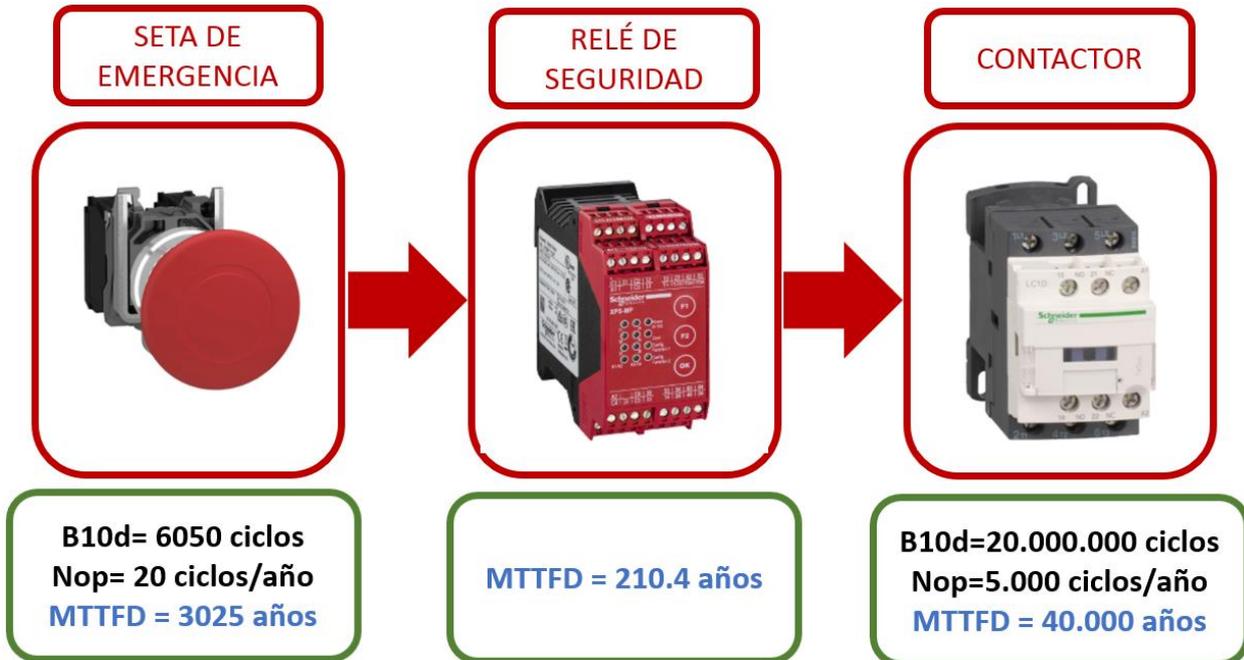


Figura 5-41. Cálculo del MTTFD de cada bloque para la función de seguridad con setas de emergencia.

Se obtiene:

- $MTTFD_{TOTAL} = 195$  años, considerado como un nivel alto.
- La cobertura de diagnóstico DC = NULA.

De manera general, para cualquiera de las funciones de seguridad funcional determinadas para la célula de fabricación flexible se tienen una estructura de categoría 1, DCavg nula y un MTTFD alto. Con los tres parámetros y con la ayuda de la Figura 5.42 se obtiene un PL = "c" para cada una de las funciones de seguridad; con lo cual se verifica que  $PLr \leq PL$ , ya que el nivel máximo para los PLr estimados es de nivel "c".

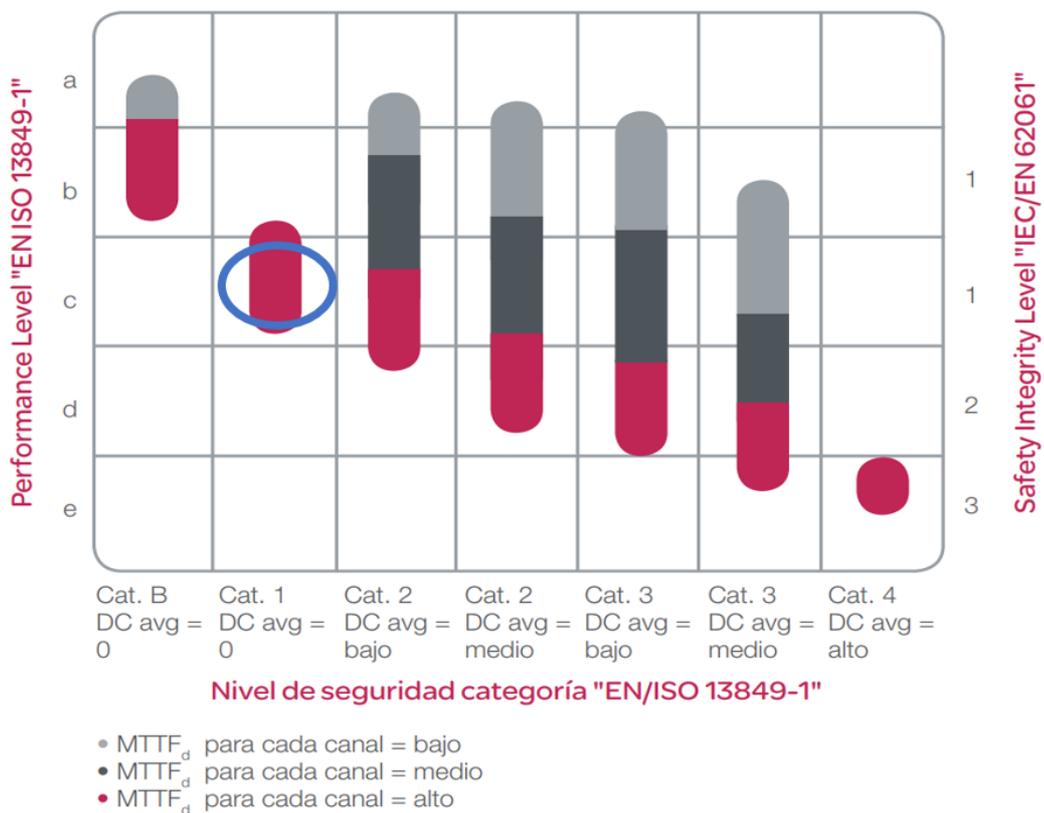


Figura 5-42. Verificación de la seguridad funcional para la célula de fabricación flexible.

## 6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

---

El estudio realizado permitió crear diferentes sistemas de seguridad funcional para la célula de fabricación flexible que se encuentra instalada en el departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática (Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla) cumpliendo de esta manera la normativa impuesta por la Directiva de Máquinas 2006/42/CE que entró en vigencia el 29 de diciembre del 2009, la misma que indica que toda máquina dentro de la Unión Europea (UE) debe garantizar un nivel mínimo de seguridad para la propia máquina y para todos los usuarios (para este caso los estudiantes) que intervengan en las etapas de: diseño/fabricación, instalación, ajuste/funcionamiento y mantenimiento en la vida útil de la máquina.

Para la identificación de cada uno de los posibles riesgos se realizó una evaluación de manera individual de cada uno de los puestos de trabajo, determinando un total 12 riesgos que atentaban en contra de la salud de los estudiantes, pudiendo ocasionar desde lesiones leves hasta una muerte por electrocución generada por los dispositivos que requieren una tensión de alimentación de 230VAC/50Hz.

Con todos los riesgos identificados dentro del funcionamiento de la célula de fabricación flexible se pudo optar por medidas que en todos los casos se consiguió eliminar los riesgos y peligros que atentaban en contra de la salud del usuario; es importante mencionar que una vez realizado el estudio para la implementación de los sistemas de seguridad funcional no se generó o adicionó algún otro tipo de riesgo eléctrico, mecánico o neumático.

Como trabajo futuro, se recomienda la implementación de los sistemas de seguridad funcional que se pudieron establecer a lo largo del presente proyecto, donde se determinaron los elementos, componentes, dispositivos, tanto eléctricos y electrónicos que permitirán garantizar la eliminación de los 12 riesgos identificados. Para la instalación de los dispositivos se debe tener en cuenta que actualmente en la célula de fabricación flexible ya se encuentran instalados las setas de emergencia, y los interruptores de seguridad; por tal razón se deben realizar una nueva conexión eléctrica para centralizar los sistemas de seguridad funcional en un determinado cuadro de control que únicamente se encargará de la seguridad funcional en cada una de las etapas de la vida útil de la célula de fabricación flexible.

## 7 PRESUPUESTO DE MATERIALES

Finalmente se propone una lista de materiales de diferentes proveedores para la implementación de los sistemas de seguridad funcional de la célula de fabricación flexible. El coste de los materiales mostrados están establecidos por el fabricante hasta la presentación del presente proyecto, se debe tener en cuenta que los precios pueden cambiar conforme transcurra el tiempo.

Los dispositivos para la implementación de las funciones de seguridad que actualmente se encuentran instalados en la célula de fabricación flexible (los 4 interruptores de seguridad del alimentador de bandejas, las 8 setas de emergencia distribuidas en puntos estratégicos de cada puesto de trabajo) se encuentran en buenas condiciones y presentan un correcto funcionamiento, por tal razón no es necesaria la sustitución de los materiales anteriormente mencionados.

Tabla 7-1. Presupuesto de los materiales para la implementación de los sistemas de seguridad funcional para la célula de fabricación flexible.

PROVEEDOR	CANT.	ELEMENTO	COSTE UNIT.	COSTE TOTAL
PILZ	11	Alfombra de seguridad PSENmat Dimensiones: 1000X600x32mm. Conexión serie: 22 alfombras. Tiempo de reacción: $\leq 25$ ms	850,00€	9350,00€
PILZ	1	Relé de seguridad PNOZ e4.1p 24VDC 2so, compatible con alfombras de seguridad.	148,90€	148,90€
PILZ	1	Relé de seguridad PNOZ X7.1 24VDC/AC 1n/ o 1n/c.	120,40€	120,40€
PILZ	2	Interruptor de seguridad magnético PSEN 1.1p- 20/PSEN 1.1-20/8mm/1unit	56,80€	113,60€
PILZ	1	PSEN cable 2m con conector acodado para interruptor de seguridad magnético	9,50€	9,50€
PILZ	1	PSEN cable 5m con conector acodado para interruptor de seguridad magnético	12,90€	12,90€
PILZ	2	Pulsador de emergencia SET.1: PIT es3.1/2n/c (2N/C, 1 N/O terminales)	34,30€	68,60€
PILZ	2	Pulsador de emergencia SET3.1: PIT es3.1/2n/c (2N/C terminales)	30,00€	60,00€
ABB	1	Fuente de alimentación de montaje en carril DIN; IN:230VAC, OUT:24VDC/2.5A	82,92€	82,92€
Schneider	2	Contactador LC1D25P7 TeSys D 3P, 440V 25A,	51,81€	103,62€

Electric		AC-3, 230VAC BOBINA		
Varios	5	Placa de metacrilato 100cm x 100cm de 5mm de grosor	55,00€	275,00€
Schneider Electric	1	Gabinete eléctrico NSYS3D10640P, IP66 1000x600x400mm	257,70€	257,70€
Schneider Electric	1	Gabinete eléctrico NSYCRN86300, IP66 800x600x300mm	198,52€	198,52€
Schneider Electric	1	Gabinete eléctrico NSYCRN64250, IP66 600x400x250mm	93,54€	93,54€
ABB	1	Disyuntor mini MCB 2P/10A	26,97€	26,97€
Varios	1	Cable para control y fuerza, carril din, canaleta ranurada, etc.	200,00€	200,00€

**NOTA: PRECIO NO INCLUYE IVA.**

**GRAN TOTAL 11.122,17€**

Con fines de formación del estudiante, se pueden llevar a cabo prácticas únicamente con el alimentador de bandejas cuando las cintas transportadoras no estén en funcionamiento; es decir, cuando el perímetro de seguridad formado por los tapices esté desactivado; teniendo en cuenta esta consideración es necesaria la utilización de dos relés de seguridad para gestionar las funciones de seguridad, el primer relé es el encargado del manejo de las tapices de seguridad, mientras que el segundo relé maneja a los interruptores de seguridad instalados en el alimentador de bandejas, las setas de emergencia, y los contactos magnéticos.

A la salida de cada relé se deberá conectar un contactor (uno para cada relé) para cortar la tensión de alimentación de los puestos de trabajo y eliminar los riesgos existentes dentro de la célula de fabricación flexible; además cada relé dispondrá de una seta de emergencia y de un pulsador para el rearme del sistema que deberá ser accionado una vez que el usuario haya verificado que todos los riesgos y peligros se encuentren controlados, garantizando de esta manera el bienestar de los estudiantes.

# BIBLIOGRAFÍA Y SITIOS WEB DE CONSULTA

---

- EN ISO 14121-1 Seguridad de las máquinas. Evaluación del riesgo - Parte 1: Principios.
- EN ISO 12100-1 Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño - Parte 1: Terminología básica, metodología.
- EN ISO 12100-2 Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño - Parte 2: Principios técnicos.
- EN IEC 60204 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Requisitos generales.
- EN ISO 13850 Seguridad de las máquinas. Parada de emergencia. Principios de diseño.
- EN IEC 62061 Seguridad de las máquinas, Seguridad funcional de sistemas de control eléctricos, electrónicos y programables relativos a la seguridad.
- EN IEC 61508 Seguridad funcional de los sistemas eléctricos / electrónicos / electrónicos programables relacionados con la seguridad.
- EN ISO 13849-1 Seguridad de las máquinas - Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad - Parte 1: Principios generales para el diseño.
- Web oficial de Schneider Electric - [www.oem.schneider-electric.com](http://www.oem.schneider-electric.com)
- Web oficial de ABB - [www.abb.es](http://www.abb.es)