

AUSOL - Setting-up de brazo robótico para aplicación de pick and place

Vargas Y., Caballero J., Muñoz B., and Apraez C.

yvargasgu@unal.edu.co, jocaballeroa@unal.edu.co, bmunozg@unal.edu.co, and capraezz@unal.edu.co

1. INTRODUCCION

La creciente demanda de eficiencia y competitividad en el sector industrial ha impulsado la adopción de soluciones automatizadas que reduzcan los tiempos de ciclo, mejoren la calidad del producto y, sobre todo, garanticen la seguridad de los operarios. En este contexto, las celdas de trabajo con robots se han convertido en un elemento clave para optimizar procesos repetitivos o con alto riesgo humano.

El presente documento se enfoca en la implementación de una celda robótica de pick and place, diseñada para transferir cajas desde una banda transportadora hasta un área de disposición (por ejemplo, un pallet o una estación de empaquetado). La propuesta gira en torno al uso de un Motoman MH50, acompañado de sistemas de alimentación y resguardo adecuado, con el fin de ejecutar las tareas de manipulación de manera segura y consistente.

A lo largo de este texto, se describen los componentes fundamentales de la celda (robot, controlador, elementos terminales, bandas transportadoras, etc.) y se abordan los principales peligros y requisitos de seguridad, tomando como referencia la norma ISO 10218-1:2011. Asimismo, se presentan las estrategias de mitigación y el enfoque para la evaluación de riesgos, con el objetivo de cumplir la normativa y garantizar un entorno de trabajo seguro, productivo y alineado con las tendencias actuales de automatización.

2. ANALISIS:

La etapa del proceso seleccionada consiste en tomar las cajas que salen de la banda transportadora (pick) y depositarlas en un punto de acopio (place), donde posteriormente un carro de carga las recogerá para su siguiente fase de transporte o almacenamiento. En dicho sentido, existen dos preguntas orientadoras para comprender el motivo de los cambios a

realizar en la fase: primero (2.1) ¿por qué integrar un robot en este procedimiento?; y segundo (2.2) ¿qué valor agregado otorga?

2.1. ¿POR QUÉ INTEGRAR UN ROBOT EN ESTE PROCEDIMIENTO?

2.1.1. Seguridad y Salud Ocupacional

2.1.1.1. Reducción del riesgo de lesiones

De acuerdo con la National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), levantar cargas superiores a 10 kg de forma repetitiva incrementa de manera significativa el riesgo de trastornos musculoesqueléticos, especialmente en la región lumbar.

Estudios realizados por Waters et al. (1993) sugieren que la manipulación manual de cargas por encima de los límites recomendados (10–15 kg según la frecuencia de levantamiento) se asocia a una mayor incidencia de lesiones de espalda y ausentismo laboral.

Al introducir un robot capaz de manipular cajas de 12.5 kg, se elimina casi por completo la necesidad de que los operarios realicen esfuerzos repetitivos, reduciendo el riesgo de lesiones agudas y crónicas.

2.1.2. Ergonomía y Movimientos Repetitivos

2.1.2.1. Minimización de sobreesfuerzos humanos

Estudios ergonómicos como los basados en la Revised NIOSH Lifting Equation recomiendan limitar el peso de la carga y la frecuencia de levantamiento para prevenir lesiones.

Retirar la carga repetitiva de 12.5 kg al día (que fácilmente excede los límites de la ecuación NIOSH según frecuencia) reduce factores de riesgo críticos como la flexión repetitiva del tronco o la torsión de la columna.

2.1.2.2. Mejora del entorno de trabajo

Un informe de la International Federation of Robotics (IFR) indica que, en aplicaciones logísticas, la automatización con robots disminuye entre un 50 % y un 70 % la necesidad de manipulación manual de cargas.

Al reducir esfuerzos físicos, el personal puede focalizarse en labores de supervisión y control de calidad, aumentando su productividad y satisfacción laboral.

2.2. ¿QUÉ VALOR AGREGADO OTORGA?

2.2.1. Eficiencia en la Cadena de Producción

2.2.1.1. Incremento de la productividad

Según datos de la IFR (2022), la instalación de robots en tareas de paletizado y manipulación puede aumentar el throughput hasta en un 30 % en comparación con la manipulación manual.

Otro estudio de McKinsey Global Institute destaca que la automatización de procesos repetitivos puede liberar hasta un 20 % del tiempo total de producción para actividades de mayor valor añadido.

2.2.1.2. Consistencia y reducción de errores

Robots programados con trayectorias y rutinas de agarre precisas reducen drásticamente la variabilidad que es típica de la intervención humana; esto conlleva menos cajas mal colocadas o dañadas.

Gultekin et al. (2013) demostraron que la asignación óptima de tareas al robot junto con una correcta secuenciación de movimientos disminuye paradas imprevistas y eleva la eficiencia global en celdas de dos máquinas.

2.2.1.3. Optimización del espacio

Al ubicar estratégicamente el robot entre la banda y los tres pallets, se minimizan desplazamientos y tiempos muertos.

2.2.2. Rentabilidad y Retorno de la Inversión (ROI)

2.2.2.1. Disminución de costos laborales y de salud

OSHA (2019) reporta que los costos directos e indirectos asociados a lesiones laborales (tratamientos médicos, ausencias, rotación de personal) suelen superar los USD 40 000 por incidente en casos de problemas lumbares graves.

Implementar un robot reduce estos costos y ayuda a cumplir regulaciones de salud, evitando potenciales multas o sanciones.

Amortización a corto o mediano plazo

Estudios recopilados por la RIA y la IFR sugieren que la adopción de celdas robóticas en paletizado puede lograr un ROI entre 1 y 3 años, dependiendo del volumen de producción y costos locales de mano de obra.

La posibilidad de operar 24/7 aumenta la producción anual y, por ende, acelera la recuperación de la inversión.

3. SELECCIÓN DE COMPONENTES INICIALES Y RUTINA DE LA CELDA:

3.1. Robot Motoman MH50 (Yaskawa)



Figura 1. Motoman MH50. Fuente: adaptado de directindustry.de

Capacidad de carga de hasta 50 kg.

Adecuado para tareas de manipulación, paletizado o pick and place de cajas.

3.2. Controlador YRC1000 + Teach Pendant (Yaskawa)



Figura 2. Controlador YRC1000. Fuente: adaptado de directindustry.de

Sistema de control dedicado al robot.

Incluye consola de programación para configurar trayectorias, velocidad y otras rutinas.

3.3. Gripper de vacío de 4 copas RobotiQ



Figura 3. Gripper de vacío de 4 copas. Fuente: adaptado de RobotiQ.com

Herramienta de final de brazo (end effector) que utiliza succión para sujetar cajas.

Diseño modular que facilita la adaptación a distintas dimensiones de embalaje.

3.4. Banda transportadora de 3,5 m para cajas (ConveyorT)



Figura 4. Banda transportadora. Fuente: adaptado de MercadoLibre.com

Medio de alimentación de las cajas hacia la zona de alcance del robot.

Posible motorización y control de velocidad para sincronizar con el ciclo del robot.

3.5. PLC S7-1200 (Siemens)



Figura 5. PLC S7-1200. Fuente: adaptado de Siemens

Controlador lógico programable que gestiona la automatización y permite la comunicación entre sensores, robot y dispositivos periféricos.

3.6. Proceso diseño de celda:

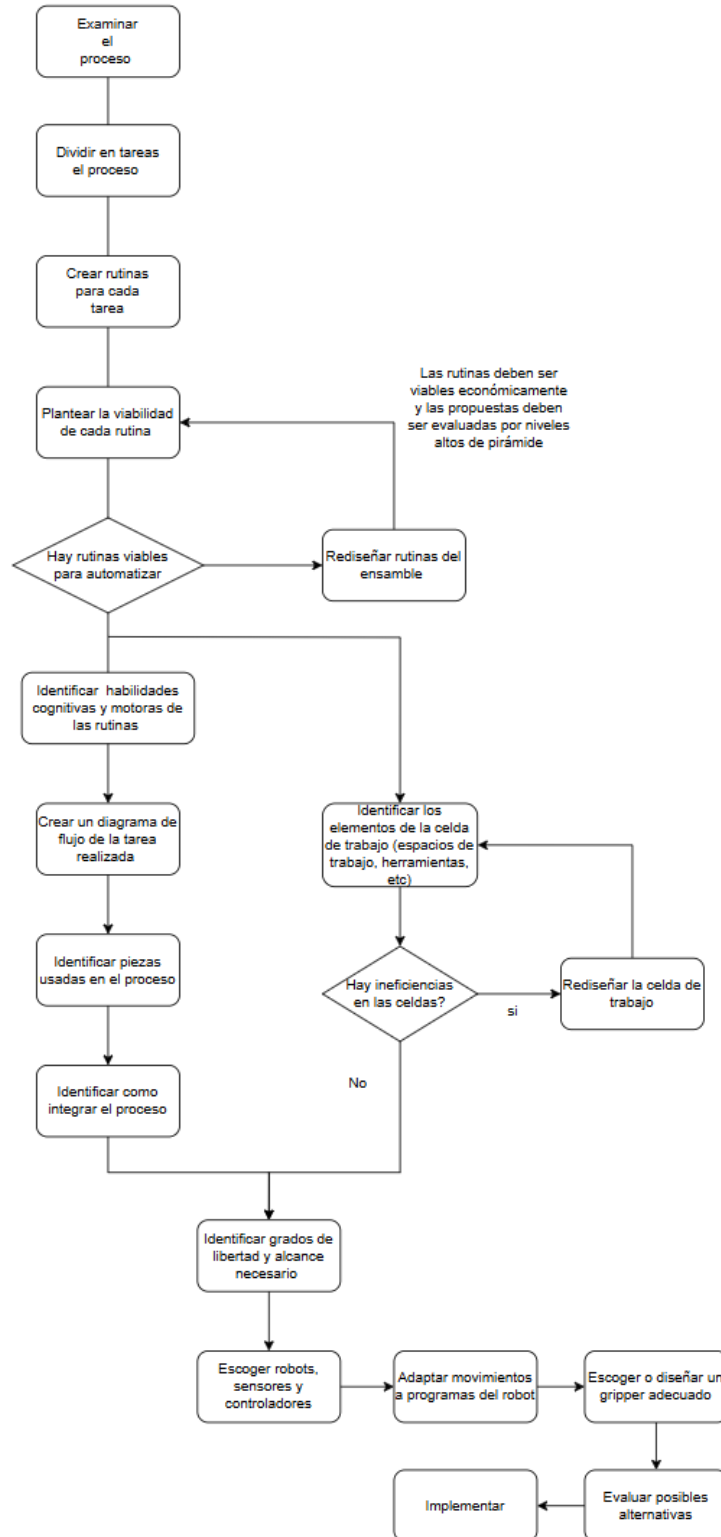


Figura 6. Diagrama diseño de celda.

3.7. Rutina de la celda:

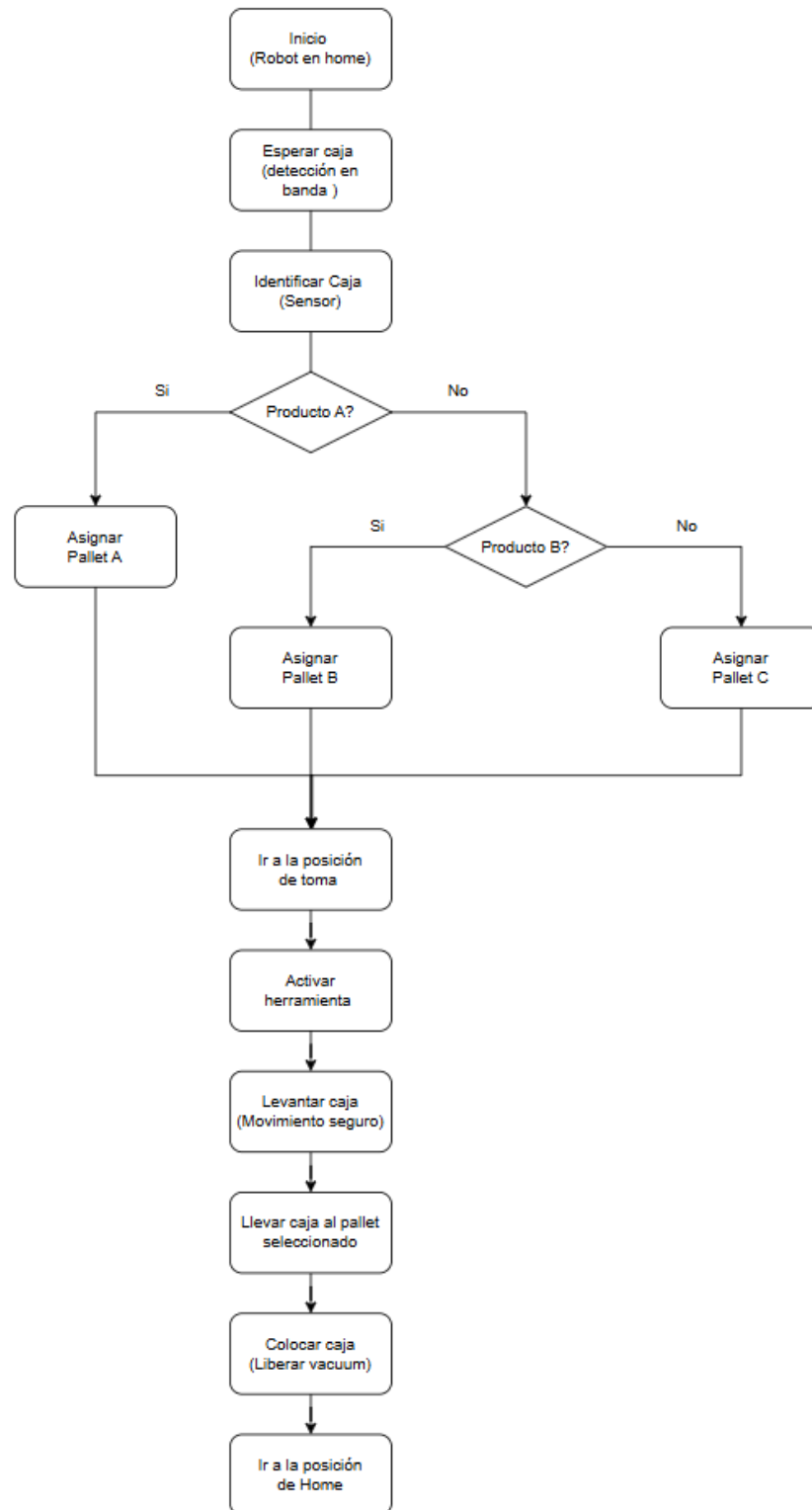


Figura 7. Diagrama rutina de la celda.

3.8. Duty cycle y throughput:

En simulación, la celda robotizada realiza un ciclo de trabajo en 3 segundos, dicho ciclo consiste en tomar la caja desde la banda transportadora y luego dejarla en el pallet para finalmente volver a una posición de home.

$$\text{Duty Cycle} = \left(\frac{\text{Tiempo total activo}}{\text{Tiempo total jornada}} \right) \times 100$$

$$\text{Duty Cycle} = \left(\frac{270}{28800} \right) \times 100$$

$$\text{Duty Cycle} = 0.9375\%$$

4. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS:

4.1. Movimientos imprevistos o fuera de control del robot.

Causa: Fallo en el sistema de control, interferencias electromagnéticas o averías en componentes mecánicos que llevan a desplazamientos inesperados.

Consecuencia: Aplastamiento, impacto o cizallamiento de personas en la zona.

4.2. Atrapamiento entre partes móviles del robot y estructuras fijas.

Causa: Espacio reducido en la trayectoria del robot, falta de resguardos o falta de parada de emergencia.

Consecuencia: Posibles lesiones graves (aplastamiento, cizallamiento).

4.3. Liberación imprevista de energía acumulada (neumática, hidráulica o gravedad).

Causa: Fallo de componentes que mantienen presiones internas, pérdida de potencia que libera frenos o contrapesos sin control.

Consecuencia: Golpes, impactos o eyección de piezas/elementos a alta velocidad.

4.4. Fallo en el elemento terminal (pinza o herramienta) y desprendimiento de carga.

Causa: Sujeción deficiente de la herramienta o de la pieza, sobrecarga de la pinza, fatiga de materiales.

Consecuencia: Caída o expulsión de la pieza de trabajo, con riesgo de impactos o golpes.

4.5. Peligros eléctricos en los componentes del robot y de las bandas transportadoras.

Causa: Contacto con conexiones o componentes en tensión, falta de toma de tierra, aislamientos en mal estado.

Consecuencia: Choque eléctrico, quemaduras y potencial efecto sobre marcapasos.

4.6. Interferencias electromagnéticas y fallos en la comunicación entre dispositivos

Causa: Sobrecargas o fallos en la red de comunicación industrial (Profinet, Ethernet/IP, etc.).

Consecuencia: Errores en la activación de paradas de emergencia o fallos en los enclavamientos de seguridad.

4.7. Posible proyección o expulsión de piezas desde las bandas transportadoras.

Causa: Golpes del robot al manipular cajas, fallos en los sensores que posicionan la mercancía, bloqueo de la cinta.

Consecuencia: Impactos en el personal en las cercanías o daños a equipamiento.

4.8. Peligros ergonómicos al programar o hacer mantenimiento dentro de la celda.

Causa: Consola de guiado mal diseñada, posturas forzadas en la zona de acceso, ubicación inadecuada de botones de parada o validación.

Consecuencia: Fatiga, lesiones musculoesqueléticas, retraso en la reacción ante una emergencia.

4.9. Inicio inesperado tras reanudación de potencia.

Causa: Falta de secuencia de arranque seguro, modos manuales/automático mal diseñados, restablecimiento no controlado tras un paro o corte de energía.

Consecuencia: Arranque del robot o la cinta sin previo aviso, atrapamiento o golpe a los operarios.

4.10. Fallo o desconexión de sistemas de seguridad o dispositivos de enclavamiento.

Causa: Interruptores mal instalados, ausencia de mantenimiento preventivo, manipulación voluntaria de resguardos.

Consecuencia: Acceso no controlado a la zona de movimiento del robot y riesgo de colisiones.

5. ANÁLISIS DE RIESGO ASOCIADO:

La norma ISO 12100 establece que cada organización puede adaptar la escala y clasificación de los parámetros de riesgo, siempre y cuando se justifique con criterios de experiencia, datos estadísticos o consenso de expertos (ISO 12100, secciones sobre evaluación de riesgos). Además, la ISO 13849-1 sugiere considerar frecuencias de acceso, facilidad de detección de fallos y severidad del daño para estimar cuán “peligrosa” es una situación y qué nivel de seguridad deben cumplir los sistemas de mando.

Por tanto, las escalas de S, P, F y E aquí mostradas son un ejemplo respaldado por:

Criterios de severidad difundidos por los institutos de seguridad industrial y la literatura técnica, que relacionan ciertos tipos de lesiones (leve, moderada, grave, mortal) con valores 1 a 4.

Referencias históricas en la industria sobre cuán frecuente (F) y probable (P) puede llegar a ser un accidente dada la experiencia en plantas con robots industriales.

Experiencia de campo (casos documentados) que reflejan cómo la posibilidad de evitación (E) depende de la velocidad del robot, la presencia de resguardos, alarmas, etc.

5.1. Escalas propuestas y justificación

Se propone la siguiente tabla de valores, derivada de los criterios más habituales en el sector robótico (conforme a guías como HSE’s “Risk assessment of machinery” y la práctica recogida en ISO/TR 14121-2).

5.1.1. Severidad (S)

La gravedad de las lesiones se clasifica en función del posible desenlace:

S = 1: Lesiones leves que no requieren baja laboral prolongada (p.ej. contusiones, laceraciones pequeñas).

S = 2: Lesiones moderadas, recuperables, con cierta duración (p.ej. fracturas simples, heridas que requieren sutura).

S = 3: Lesiones graves o permanentes (amputaciones, daños irreversibles en extremidades, quemaduras de 3er grado).

S = 4: Lesiones muy graves que pueden conducir a la muerte o dejan secuelas muy significativas (por ejemplo, traumatismo craneoencefálico severo).

5.1.2. Probabilidad de que ocurra el evento (P)

Este factor valora la probabilidad de que un peligro cause daño en caso de exposición:

P = 1 (muy baja) Sucede cuando hay sistemas de seguridad muy fiables (IEC 61508 / ISO 13849-1), una frecuencia de fallos muy reducida ($<10^{-7}/h$), y el escenario exige condiciones muy improbables.

P = 2 (baja) Se asume que, aunque la situación peligrosa existe, hay barreras o controles que reducen de manera significativa la ocurrencia.

P = 3 (media) Sin ser común, existe una ocurrencia ocasional de fallos (p.ej. uno o dos eventos al año en una planta con varios robots).

P = 4 (alta) Es el caso donde se presentan condiciones inestables o fallos frecuentes (varios eventos por mes).

5.1.3. Frecuencia / Exposición (F)

Es la periodicidad con la que las personas se encuentran en o cerca del peligro:

F = 1 (exposición esporádica) Tareas puntuales (1 vez al mes o menos).

F = 2 (exposición ocasional) Accesos semanales o diarios muy breves a la zona peligrosa.

F = 3 (exposición frecuente) Presencia habitual (varias veces al día) cerca del robot, p.ej. para ajustar programas o supervisar la línea.

F = 4 (exposición continua) El operario permanece a menudo en la zona (mantenimiento intensivo, trabajo cooperativo continuo).

5.1.4. Posibilidad de Evitación (E)

Valora qué tan fácil es que la persona pueda evitar o escapar de las consecuencias cuando el peligro se activa:

E = 1 (muy alta) El operador ve venir el peligro con claridad y puede apartarse sin riesgo (velocidad muy baja o aviso prolongado).

E = 2 (alta) Puede evitarse si el operador está atento, hay margen de reacción y señales de alerta (luz, sonido).

E = 3 (media) A veces es posible evitarlo, pero no siempre (movimientos más rápidos, visibilidad parcial).

E = 4 (baja) Difícil de esquivar: acción muy rápida, espacios confinados, o señales de alerta insuficientes.

Estas consideraciones se recogen de la experiencia en robótica industrial: a mayor velocidad y complejidad de movimientos, más difícil es reaccionar a tiempo (ISO 10218-1, cap. 5.6 y 5.7, sobre velocidades reducidas y modos de operación).

5.2. Valoración HRN

5.2.1. Movimientos imprevistos o fuera de control (Peligro 1)

Severidad = 4: Un brazo robot de 50 kg de carga útil (Motoman MH50) puede impactar con fuerza suficiente para lesiones fatales (cabeza, tórax).

Probabilidad = 2: Existe un riesgo de fallo en sistemas de control, pero su probabilidad es baja cuando se siguen las directrices ISO 13849-1.

Frecuencia (F) = 3: El personal de mantenimiento/programación puede entrar varias veces al día o por turnos en la celda.

Evitación (E) = 3: A velocidades normales (aceleraciones de 2-3 m/s²) puede ser complejo reaccionar.

$HRN = 4 \times 2 \times 3 \times 3 = 72$ (Riesgo alto)

5.2.2. Atrapamiento entre partes móviles y estructuras fijas (Peligro 2)

S = 3: Atrapamiento suele implicar aplastamiento o cizallamiento grave en extremidades, con posibles amputaciones.

P = 3: Si no se respetan enclavamientos, o se anulan resguardos, es factible.

F = 3: La celda pick and place puede requerir ajustes/limpiezas diarias o semanales, exponiendo a la persona con cierta regularidad.

E = 3: El espacio de trabajo a menudo es reducido; la reacción puede ser tardía si el robot inicia un ciclo en automático.

$$\text{HRN} = 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81 \text{ (Riesgo alto)}$$

5.2.3. Liberación imprevista de energía acumulada (Peligro 3)

S = 3 Un desplome del brazo por pérdida de potencia del freno o la salida violenta de aire/hidráulico puede ocasionar lesiones graves.

P = 2 Con un buen mantenimiento preventivo, no suele ocurrir a menudo.

F = 2 El acceso para mantenimiento del circuito hidráulico/neumático no es continuo, sino ocasional.

E = 2 Una vez se liberó la energía, la persona tiene cierto margen para alejarse, siempre que siga procedimientos.

$$\text{HRN} = 3 \times 2 \times 2 \times 2 = 24 \text{ (Riesgo medio)}$$

5.2.4. Fallo en el elemento terminal y desprendimiento de carga (Peligro 4)

S = 3 Un objeto de varios kilos cayendo puede provocar fracturas o traumatismos.

P = 3 Errores de sujeción (fuerza de la pinza, detección de pieza) pueden ser relativamente comunes si no se calibran bien sensores.

F = 2 El operario no suele colocarse directamente bajo la pieza, pero sí puede ocurrir durante inspecciones.

E = 3 Es factible evitar estar debajo de la carga, pero a veces el operario desconoce que la pinza está fallando.

$$\text{HRN} = 3 \times 3 \times 2 \times 3 = 54 \text{ (Medio-alto)}$$

5.2.5. Peligros eléctricos (Peligro 5)

S = 4 Una descarga de alta tensión (brazos robóticos grandes suelen emplear 400-480 V trifásicos) puede ocasionar paro cardiorrespiratorio.

Según el IEC 60204-1 (sistemas eléctricos en máquinas); tensiones altas implican riesgo letal.

P = 2 Con instalaciones correctas, la probabilidad de descarga se mantiene baja, pero no es nula (posibles averías de aislamientos).

F = 2 El personal no accede rutinariamente a armarios eléctricos, pero hay revisiones periódicas.

E = 2 Puede haber avisos y EPI, pero un contacto accidental con cables sin protección se produce sin tiempo de reacción.

$$\text{HRN} = 4 \times 2 \times 2 \times 2 = 32 \text{ (Medio)}$$

5.2.6. Interferencias electromagnéticas y fallos en la comunicación entre dispositivos (Peligro 6)

S = 3 Un fallo en la comunicación puede provocar movimientos erráticos.

P = 2 Las interferencias electromagnéticas pueden ocurrir en entornos industriales con alto ruido eléctrico, pero si la instalación sigue normas como IEC 60204-1, el riesgo es menor.

F = 3 La celda robótica opera de forma continua, por lo que la exposición a fallos de comunicación es frecuente.

E = 3 si la falla es repentina, puede ser difícil evitarla antes de que cause un problema operativo.

$$\text{HRN} = 3 \times 2 \times 3 \times 3 = 54 \text{ (Medio-alto)}$$

5.2.7. Proyección o expulsión de piezas (Peligro 7)

S = 2 Normalmente son cajas o paquetes con masa limitada, resultando en contusiones o lesiones oculares.

P = 3 Atascos en bandas y errores de posicionamiento son relativamente frecuentes (sobre todo en líneas rápidas).

F = 3 El operario suele estar cerca para supervisar el flujo y retirar obstrucciones.

E = 3 Puede haber alguna posibilidad de reacción, pero si la expulsión es súbita, el operario podría no esquivarlo a tiempo.

$$\text{HRN} = 2 \times 3 \times 3 \times 3 = 54 \text{ (Medio-alto)}$$

5.2.8. Peligros ergonómicos (Peligro 8)

S = 2 Suele implicar lesiones musculoesqueléticas no mortales (tendinitis, lumbalgias).

P = 2 Si no se diseña bien la consola o el acceso, la probabilidad de mala postura repetitiva es moderada.

F = 3 El operario puede programar o vigilar la celda varias veces al día.

E = 2 Puede corregir postura, pero no siempre hay espacio ni hay conciencia ergonómica suficiente.

$$\text{HRN} = 2 \times 2 \times 3 \times 2 = 24 \text{ (Bajo)}$$

5.2.9. Inicio inesperado tras reanudación de potencia (Peligro 9)

S = 3 Si el robot se reinicia de forma brusca, puede impactar en el operario que está dentro.

P = 1 Bien diseñado (ISO 10218-1 y IEC 60204-1), no debería moverse al reconectar energía, pero hay fallos documentados.

F = 3 Cada vez que haya un corte de luz o mantenimiento, existe exposición.

E = 3 El operario podría oír el arranque, pero la reacción puede no ser inmediata.

$$\text{HRN} = 3 \times 1 \times 3 \times 3 = 27 \text{ (Medio)}$$

5.2.10. Fallo o desconexión de sistemas de seguridad (Peligro 10)

S = 4 Si fallan enclavamientos/ barreras, el robot queda libre de iniciar movimiento sin protección.

P = 2 En un sistema con verificaciones y autodiagnóstico, es poco probable, pero puede suceder por manipulación dolosa o averías.

F = 2 El fallo puede ocurrir en cualquier momento, pero la detección puede ser tardía.

E = 3 El operario no sabrá que el resguardo está inoperativo hasta que se produzca una maniobra peligrosa; difícil de evitar.

$$HRN = 4 \times 2 \times 2 \times 3 = 48 \text{ (Medio-alto)}$$

6. COMPONENTES DE SEGURIDAD:

6.1. Movimientos imprevistos o fuera de control (Peligro 1)

- Requiere componentes de seguridad:

Sí. Se necesitan sistemas de paro de emergencia, funciones de paro de seguridad, interbloqueos que corten la potencia de accionamiento del robot ante la apertura de protecciones, y sistemas de control redundantes para minimizar la probabilidad de un movimiento inesperado.

Deben aplicarse medidas de ingeniería: resguardos perimetrales, control de velocidad reducida y dispositivos de validación.
- Medidas complementarias (manuales/EPP):

Formación específica para evitar acceso indebido a la zona de riesgo, procedimientos de consignación (lock-out/tag-out), y uso de EPP, por ejemplo, calzado de seguridad.

No obstante, debido a la alta severidad, el componente de seguridad es indispensable.

6.2. Atrapamiento entre partes móviles del robot y estructuras fijas (Peligro 2)

- Requiere componentes de seguridad:

Sí. El atrapamiento es uno de los peligros mecánicos más críticos. La ISO 10218-1 exige resguardos, dispositivos de limitación de ejes, sistemas de enclavamiento y paros de seguridad.

Para celdas pick and place suelen utilizarse vallas de seguridad y finales de carrera o sensores de posición que, unidos al control de seguridad, impidan la colisión con postes, paredes o estructuras.

- Medidas complementarias:

Procedimientos claros para entrar en la celda, formación en detección de zonas de aplastamiento, avisos visuales en puntos de posible atrapamiento.

Aunque las directrices y la formación ayudan, los resguardos físicos e interbloqueos son obligatorios por el riesgo grave.

6.3. Liberación imprevista de energía acumulada (Peligro 3)

- Requiere componentes de seguridad:

La norma destaca la importancia de controlar la energía almacenada; no obstante, esto se puede hacer mediante medidas complementarias.

- Medidas complementarias:

Manuales de procedimiento de “descarga de energía” antes de mantenimiento, entrenamiento en lock-out/tag-out, y EPP apropiados (guantes resistentes, etc.).

6.4. Fallo en el elemento terminal y desprendimiento de carga (Peligro 4)

- Requiere componentes de seguridad:

En muchos casos, se instalan sensores de agarre o sistemas de detección de presión para verificar que la carga esté bien sujeta. No siempre se consideran “componentes de seguridad” en el sentido estricto (no todos tienen categoría de seguridad), pero sí pueden reducir la probabilidad de caída.

- Medidas complementarias:

Procedimientos de inspección diaria de las pinzas, formación en límites de carga, y evitar que el operario permanezca bajo la pieza.

En muchas plantas se recurre a buenos manuales y entrenamiento como medidas principales.

6.5. Peligros eléctricos en el robot y bandas transportadoras (Peligro 5)

- Requiere componentes de seguridad:

Sí. Cumplir con IEC 60204-1 (material eléctrico de máquinas), buena puesta a tierra, dispositivos diferenciales, seccionadores con bloqueo, etc.

Se consideran “componentes de seguridad” los dispositivos de desconexión que impiden energizar la máquina mientras se trabaja en ella.

- Medidas complementarias:

Procedimientos de lock-out/tag-out, manuales de uso que prohíban acceso a partes en tensión, capacitación del personal que manipula cuadros eléctricos.

El EPP (guantes aislantes) se utiliza a veces, pero la clave es tener los equipos eléctricos seguros en primer lugar.

6.6. Interferencias electromagnéticas y fallos en la comunicación entre dispositivos (Peligro 6)

- Requiere componentes de seguridad:

Uso de cables blindados y filtrado EMI para minimizar el ruido electromagnético en líneas de señal.

Implementación de redundancia en comunicación (doble canal en redes Profinet/Ethernet) para evitar la pérdida de datos

Aislamiento de señales de potencia y control, siguiendo normativas como IEC 60204-1, para reducir interferencias eléctricas que puedan afectar los sistemas de comunicación.

- Medidas complementarias:

Protocolos para reconfiguración segura del sistema en caso de pérdida de comunicación.

Revisión periódica de conexiones, integridad de cables y correcto enrutamiento de señales.

6.7. Proyección o expulsión de piezas desde las bandas transportadoras (Peligro 7)

- Requiere componentes de seguridad:

Se pueden instalar protectores o carenados sobre la cinta, barreras físicas o “cortinas” de material resistente para que, si sale proyectada una caja, no golpee a los operadores.

Según la evaluación de riesgos, a veces basta con resguardos parciales en las zonas de transferencia entre robot y banda.

- Medidas complementarias:

Formación para no asomar partes del cuerpo en la banda en marcha, procedimientos de parada antes de retirar atascos.

Por lo general, manuales de operación y entrenamiento son fundamentales, pero una protección física (pantalla, barrera) suele ser muy recomendable.

6.8. Peligros ergonómicos (programación, posturas forzadas) (Peligro 8)

- Requiere componentes de seguridad:

Este tipo de riesgo rara vez se mitiga con “dispositivos de seguridad” en sentido estricto (no hay un enclavamiento contra la mala postura).

- Medidas complementarias:

Formación ergonómica (posiciones de trabajo seguras, pausas de descanso), manuales de buenas prácticas.

Dotar al operario de EPP adecuados (calzado, fajas si aplica), y asegurar accesos a alturas correctas.

6.9. Inicio inesperado tras reanudación de potencia (Peligro 9)

- Requiere componentes de seguridad:

La ISO 10218-1 insiste en que la vuelta de la potencia no genere movimientos automáticos sin una acción deliberada, lo que se logra con componentes de control de seguridad (por ejemplo, circuitos que exijan rearme manual tras un paro).

Sistemas de enclavamiento y control que impidan arranques accidentales y garanticen la detención al reactivar la energía (IEC 60204-1, dispositivos de seguridad redundantes).

- Medidas complementarias:

Procedimientos de puesta en marcha (checklists, verificación del área despejada).

Avisos luminosos y sonoros antes de arrancar.

6.10. Fallo o desconexión de sistemas de seguridad (Peligro 10)

- Requiere componentes de seguridad:

Precisamente se trata de una falla de esos componentes. Para minimizarlo, la ISO 10218-1 exige sistemas de control con autodiagnóstico y redundancia (PL d o SIL 2). Se emplean circuitos a prueba de fallos que, ante el menor error, detienen el robot.

También se necesitan sellos o candados en los resguardos para evitar desconexiones voluntarias.

- Medidas complementarias:

Un plan de mantenimiento y auditoría de seguridad, manuales que prohíban manipular los enclavamientos.

Entrenamiento para detectar avisos de fallo en el sistema de control y reportar inmediatamente.

7. CONCLUSIONES EN LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD:

Peligros que requieren siempre componentes de seguridad:

- Movimientos imprevistos, atrapamiento, peligros eléctricos, reanudación de potencia inesperada y fallo de sistemas de seguridad son ejemplos claros donde la ISO 10218-1 y la ISO 12100 indican que la solución principal debe ser de tipo ingeniería y control de seguridad (enclavamientos, circuitos redundantes, resguardos físicos, etc.).

Peligros que pueden mitigarse principalmente con manuales de uso, entrenamiento y/o EPP:

- Peligros ergonómicos (8) dependen sobre todo del diseño ergonómico y la formación, no tanto de un “interlock”.
- Proyección de piezas (7) puede requerir pantallas de protección sencillas, pero buena parte del control recae en procedimientos (parar la banda antes de intervenir) y entrenamiento para no situarse en trayectorias peligrosas.
- Fallo en el elemento terminal (4) se atenúa con sensores y rutinas de mantenimiento, pero muchas empresas refuerzan la prevención con procedimientos (verificar sujeción, no colocarse debajo de la carga).

7.1. Componentes de seguridad elegidos:

Instalación de 3 cortinas de luz en los puntos de interacción con la banda transportadora:

Aunque la ISO 10218-1 no menciona explícitamente los peligros asociados a las bandas transportadoras en celdas robóticas, sí enfatiza la necesidad de identificar y mitigar los riesgos derivados de los movimientos del robot y su interacción con el entorno. La omisión de las bandas transportadoras en esta normativa no implica que no constituyan un peligro, sino que su regulación debe abordarse bajo otras normativas y mejores prácticas de seguridad industrial.

Por estas razones, el análisis de este riesgo no se incluyó en la Sección 4; sin embargo, en la presente sección se desarrolla un estudio de los peligros asociados a las bandas transportadoras dentro de una celda robótica, así como las medidas de seguridad seleccionada.

Identificación de Peligros en Bandas Transportadoras:

Las bandas transportadoras, al operar en conjunto con sistemas robóticos, pueden representar diversos riesgos para los operarios y el equipo, entre los que destacan:

- Atrapamiento de extremidades o ropa en el mecanismo de arrastre.
- Acceso involuntario de operarios a la zona de riesgo durante el funcionamiento.

Para garantizar un entorno seguro, se recomienda la instalación de cortinas de luz tipo 4 (ISO 13855) en las siguientes áreas de la celda robótica:

1. Zonas de interacción entre el robot y la banda transportadora, evitando el acceso del operario mientras el sistema está en funcionamiento.
2. Áreas de carga y descarga manual, deteniendo el movimiento de la banda si una persona ingresa a la zona de peligro.



Figura 8. Cortina de luz de seguridad. Fuente: adaptado de directindustry.de

15,4 metros de reja de 2 metros de altura:



Figura 9. Rejas de seguridad. Fuente: adaptado de amhboston.com

Cumple con la ISO 13857, que establece que los resguardos físicos deben impedir el acceso a la zona de peligro, considerando las dimensiones del robot y la posible extensión de sus ejes.

Una altura de 2 metros asegura que un operario no pueda ingresar fácilmente por encima de la estructura.

La reja evita el acceso involuntario y garantiza que solo el personal autorizado ingrese por la puerta controlada.

Dos botones de parada de emergencia (uno dentro y otro fuera de la celda)



Figura 10. Botón de parada de emergencia. Fuente: adaptado de implmentos.cl

Cumple con la ISO 13850, que exige que los botones de parada de emergencia sean accesibles y visibles en zonas estratégicas.

Botón exterior: Permite detener el sistema antes de ingresar a la celda, previniendo que alguien acceda cuando el robot está en movimiento.

Botón interior: Asegura que, si un operario ya está dentro, tenga una forma rápida de detener la operación en caso de emergencia.

Ambos están integrados en el circuito de seguridad, garantizando que una activación corte la energía de manera inmediata.

Botón de hombre muerto



Figura 11. Botón de hombre muerto. Fuente: adaptado de us.idec.com

Según la ISO 10218-1, los robots industriales en modo de programación o mantenimiento deben contar con dispositivos de validación, como un botón de hombre muerto en el teach pendant.

Este botón asegura que, si el operador suelta la presión (por accidente o por emergencia), el sistema se detiene automáticamente.

8. LAYOUT

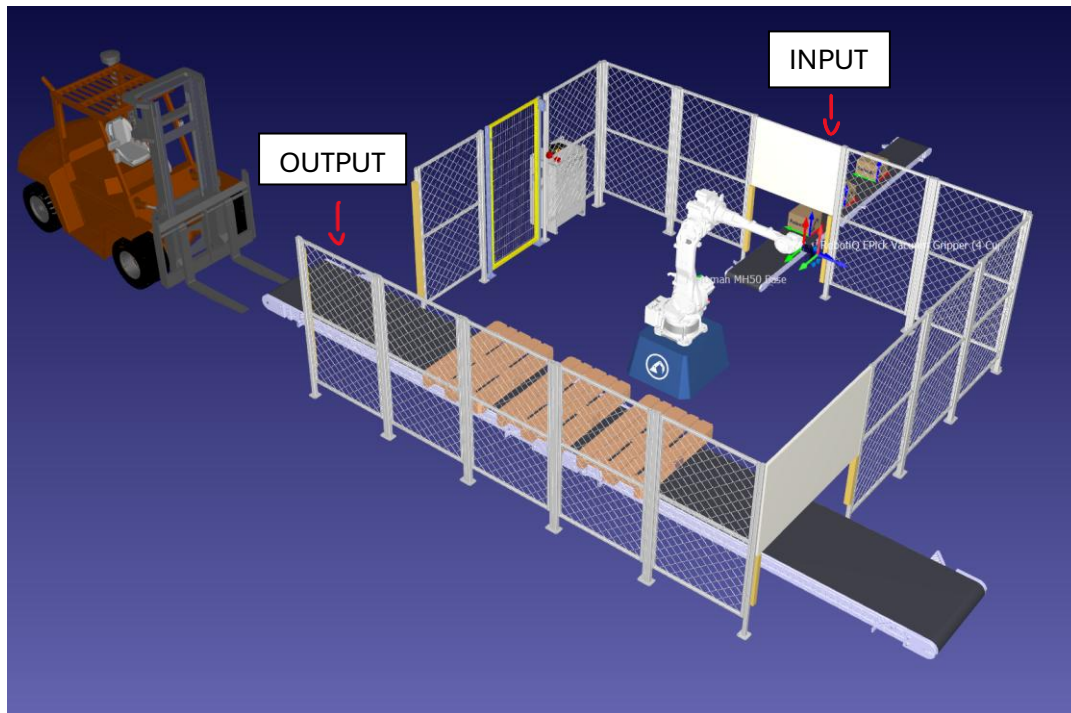


Figura 12. LayOut 3D.

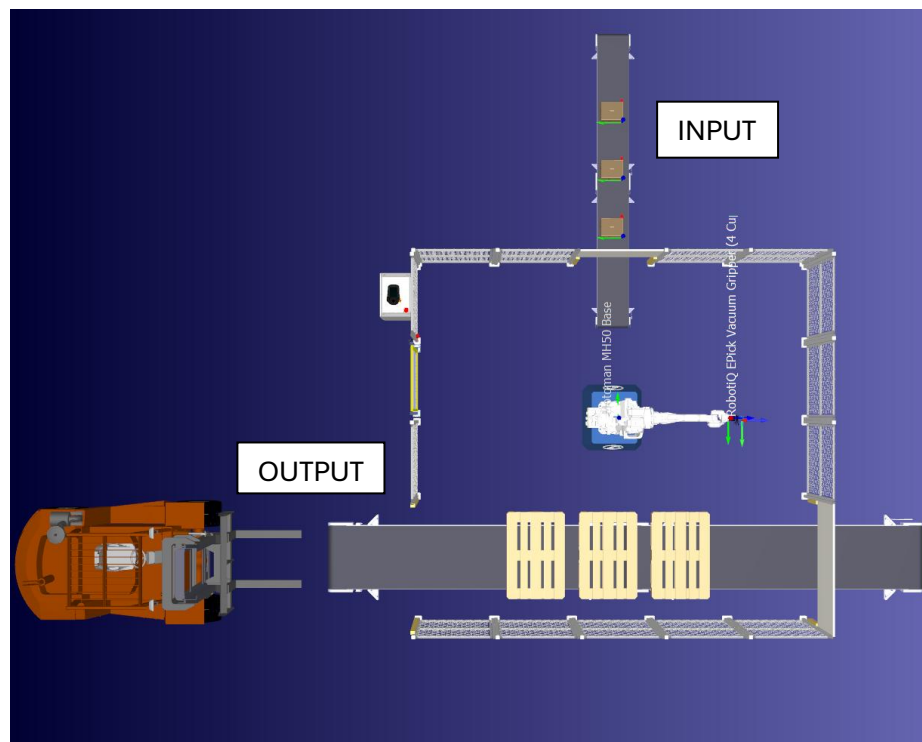


Figura 13. LayOut vista superior.