**Celda robotizada para la línea de ensamblaje de motos eléctricas.**

En la etapa inicial del proyecto se propusieron dos alternativas para la integración de celdas robotizadas en la línea de ensamblaje de motocicletas eléctricas. La primera alternativa consistía en incorporar un brazo robótico industrial para realizar operaciones de *pick and place*, trasladando componentes desde una zona de almacenamiento hacia la línea de producción. Dentro de esta propuesta se contemplaron dos posibles aplicaciones específicas: la manipulación y posicionamiento del chasis o, alternativamente, de los módulos de batería.

La segunda propuesta se enfocaba en la personalización del producto final mediante la incorporación de una línea de “customización”. Esta línea estaría equipada con máquinas CNC para la fabricación de piezas personalizadas, asistidas por un brazo robótico colaborativo encargado de manipular materiales y herramientas en el proceso de manufactura personalizada.

Tras un análisis comparativo de viabilidad técnica, operativa y económica, se optó por desarrollar la primera alternativa, centrando la automatización en el posicionamiento de las baterías dentro del chasis de la motocicleta. Esta decisión respondió a múltiples factores. En primer lugar, los chasis presentan variaciones significativas en sus dimensiones y geometría según el modelo, lo que complica el diseño de una pinza o sistema de agarre lo suficientemente versátil y preciso. Por el contrario, los módulos de batería presentan una geometría estandarizada y regular, lo que facilita su manipulación automatizada, reduce la complejidad del sistema de agarre y disminuye el riesgo de errores o accidentes durante el proceso de ensamblaje.

La segunda alternativa fue descartada debido a que la implementación de una línea de personalización implicaría una inversión considerable en maquinaria adicional y en sistemas de integración entre el brazo robótico y las máquinas CNC. A ello se suma la complejidad en la programación, el mantenimiento y la coordinación operativa de dicha célula, factores que podrían generar fallos en el sistema y, en consecuencia, comprometer la seguridad y eficiencia de la línea de producción.

Detalles y Costos de la celda robotizada.

Para la implementación de la celda robotizada se seleccionó el brazo robótico KUKA KR 60, una solución industrial de alta confiabilidad que cumple con los requerimientos funcionales del proyecto. Este modelo fue elegido principalmente por su capacidad de carga útil de hasta 60 kilogramos, lo que lo convierte en una opción adecuada para la manipulación de módulos de batería, cuyo peso individual puede superar los 10 kilogramos. Esta holgura en la capacidad de carga no solo garantiza un margen de seguridad operativa, sino que también permite una eventual ampliación de tareas o manipulación de componentes más pesados en futuras etapas del proyecto.

Otro factor determinante en la selección fue su disponibilidad en el mercado de equipos reacondicionados, donde se puede adquirir a un valor estimado de 28.200 euros, lo que representa una alternativa económicamente viable frente a otras soluciones con características similares. Esta estrategia de adquisición permite optimizar la relación costo-beneficio sin comprometer el desempeño técnico ni la durabilidad del equipo.



Asi mismo el costo del mantenimiento de dicho robod redonde entre el 10% y el 5% del costo total de este.

En cuanto al sistema de sujeción, se evaluaron los modelos Zimmer GPP5000 y SCHUNK PGN-plus. Finalmente, se seleccionó el SCHUNK PGN-plus por considerarse el más adecuado para la manipulación de baterías, tanto por su capacidad de carga como por su fiabilidad en aplicaciones industriales. Su precio estimado, según proveedores en Alibaba, oscila entre los 1.000 y 1.100 dólares. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Schunk-PGN-plus-P-Two-finger-1600191181465.html>

Riesgos en celdas robotizadas.

* **Pinchazos y atrapamientos**: frecuentes en celdas robotizadas. En entornos industriales, los pellizcos representan entre el 56 % de las lesiones y las colisiones el 44 % [fanuc.eu+2arxiv.org+2frontiersin.org+2](https://arxiv.org/abs/2411.18289?utm_source=chatgpt.com)[en.wikipedia.org](https://en.wikipedia.org/wiki/Workplace_robotics_safety?utm_source=chatgpt.com).
* **Colisión robot‑humano**: se reportan entre 30 y 40 accidentes laborales por año derivados de robots industriales .
* **Fallo eléctrico/arco eléctrico**: documentado como riesgo relevante en guías de seguridad de robots industriales [osha.gov+1arxiv.org+1](https://www.osha.gov/enforcement/directives/std-01-12-002?utm_source=chatgpt.com).
* **Caída de baterías / sujeción inadecuada**: aunque no hay estadísticas precisas públicas, se identifican como eventos de media frecuencia en robots manipulando cargas pesadas, por lo que se recomiendan protocolos de inspección y sujeción redundante.
* **Fallo de bomba de vacío**: un riesgo documentado en sistemas híbridos, aunque menos frecuente, se menciona en estudios de diseño industrial de grippers .
* **Sobrecalentamiento / fallo térmico de baterías**: la propagación térmica es una falla conocida en sistemas de almacenamiento de baterías, con mitigaciones recomendadas como ventilación y BMS .
* **Errores de programación/control**: los errores humanos o de software son citados como causa significativa en accidentes con robots [stacks.cdc.gov+2controleng.com+2en.wikipedia.org+2](https://www.controleng.com/identify-and-mitigate-robotic-hazards/?utm_source=chatgpt.com).
* **Entrada no autorizada / acceso humano**: identificado como fuente de riesgo en estándares OSHA y Wikipedia sobre seguridad en robots [pmc.ncbi.nlm.nih.gov+2arxiv.org+2core.ac.uk+2](https://arxiv.org/abs/2411.18289?utm_source=chatgpt.com).
* **Mantenimiento insuficiente**: fallas mecánicas o desgaste se mencionan como causales comunes; la guía de OSHA considera el mantenimiento como parte central de mitigación .

| **Riesgo** | **Frecuencia** | **Consecuencia** | **Mitigación recomendada** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Pinchazos, atrapamientos** | Media-alta | Lesiones graves | Guardas rígidas + sensores de presencia + parada automática ([develop-llc.com](https://develop-llc.com/knowledge-base/innovation-in-robotics-and-safety/?utm_source=chatgpt.com" \o "Robotic Safety Guide for Manufacturing | DEVELOP LLC), [fabricatingandmetalworking.com](https://fabricatingandmetalworking.com/design-considerations-for-robotic-welding-cell-safety/?utm_source=chatgpt.com)) |
| **Caída de baterías (objetos caídos)** | Media | Lesión por impacto | Aseguramiento mecánico + protocolos de carga + inspección de gripper |
| **Colisiones robot‑humano** | Media | Lesiones graves | Zonas delimitadas, cortinas de luz, scanners, velocidad reducida al detectar persona |
| **Fallo eléctrico (arco, choque)** | Baja-media | Quemaduras, daños | Mantenimiento, conexionado seguro, LOTO, E-stop |
| **Fallo por bomba de vacío (si se emplea)** | Baja-media | Caída de carga | Uso de gripper mecánico o híbrido, sensores de vacío, redundancia |
| **Sobrecalentamiento batería/quirúrgico** | Media-baja | Incendio, explosión | BMS, monitor térmico, ventilación, controladores inteligentes |
| **Error de programación / lógica** | Media | Movimiento inesperado | Simulación digital, revisiones PLC, validación del software |
| **Entrada no autorizada** | Baja-media | Riesgo de accidente | Interlocks en puertas, LOTO, control de acceso, formación |
| **Mal mantenimiento / inspección insuficiente** | Media | Fallos múltiples | Planes preventivos, sensorado IoT, auditorías periódicas |

* **Alta**: >1 evento/año con daños potenciales.
* **Media**: 1 evento cada 1–3 años.
* **Baja**: <1 evento cada 3 años.

Aplicación de mitigaciones:

* **Zonificación y barreras** – instala cercas rígidas + cortinas de luz láser, scanners, zonas de velocidad reducida o parada al detectar personas [digikey.com+4pmc.ncbi.nlm.nih.gov+4fabricatingandmetalworking.com+4](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4779796/?utm_source=chatgpt.com).
* **Interlocks y LOTO** – entradas con cierre eléctrico que apagan el robot, requiere llave para trabajos de mantenimiento [sick.com+9fabricatingandmetalworking.com+9reddit.com+9](https://fabricatingandmetalworking.com/design-considerations-for-robotic-welding-cell-safety/?utm_source=chatgpt.com).
* **Sensores y redundancias** – uso de escáneres, sensores de vacío, cámaras 3D, sensores térmicos, redundancias en agarre .
* **Mantenimiento y monitoreo predictivo** – inspecciones programadas, uso de IoT, backups, simulaciones antes de cambios de software .
* **Formación y procedimientos** – entrenamientos regulares, protocolos de emergencia y de actuación ante fallos [sick.com+4pmc.ncbi.nlm.nih.gov+4fabricatingandmetalworking.com+4](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4779796/?utm_source=chatgpt.com).
* **Gestión térmica y batería** – sistema BMS, ventilación, smart charger, evitar condiciones extremas

Referencias:

* Control Engineering. (2022). *Identify and mitigate robotic hazards*. Recuperado de https://www.controleng.com/articles/identify-and-mitigate-robotic-hazards/
* OSHA. (2020). *Guidelines for Robotics Safety*. Occupational Safety and Health Administration. Recuperado de https://www.osha.gov/robotics
* MDPI. (2021). *Safety Aspects of Stationary Battery Energy Storage Systems*. Energies, 14(9), 2564. https://doi.org/10.3390/en14092564
* NIOSH. (2020). *Case Studies of Robots and Automation*. Centers for Disease Control and Prevention. Recuperado de <https://www.cdc.gov/niosh/topics/robotics/>

| **Riesgo** | **Frecuencia** | **Gravedad** | **Índice de riesgo** | **Nivel** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Pinchazos/atrapamientos | 4 (Media-alta) | 4 (Muy grave) | **16** | **Crítico** |
| Colisiones robot-humano | 4 (Media-alta) | 4 (Muy grave) | **16** | **Crítico** |
| Caída de baterías | 3 (Media) | 3 (Grave) | **9** | Alto |
| Fallo eléctrico | 2 (Media-baja) | 4 (Muy grave) | **8** | Alto |
| Fallo bomba vacío | 2 (Media-baja) | 3 (Grave) | **6** | Medio |
| Sobrecalentamiento batería | 2 (Media-baja) | 4 (Muy grave) | **8** | Alto |
| Error de programación | 3 (Media) | 3 (Grave) | **9** | Alto |
| Acceso no autorizado | 2 (Media-baja) | 3 (Grave) | **6** | Medio |
| Mantenimiento deficiente | 3 (Media) | 3 (Grave) | **9** | Alto |

**Índice de riesgo = Frecuencia × Gravedad**  
(Siendo 1 = baja y 4 = muy alta)

Mitogacion:

**2. Priorización de riesgos a mitigar**

**Riesgos críticos a mitigar de inmediato (índice ≥ 16)**

* **Pinchazos/atrapamientos**
* **Colisiones robot-humano**

**Medidas clave**:

* Barreras físicas, cortinas de luz, parada de emergencia
* Escáneres láser de presencia
* Diseño de herramientas que eviten zonas de atrapamiento

**Riesgos de prioridad alta (índice 9)**

* **Caída de baterías**
* **Error de programación**
* **Mantenimiento deficiente**

**Medidas clave**:

* Revisión de diseño del gripper y pruebas con sobrepeso
* Validación de rutinas y software (simulación offline)
* Plan de mantenimiento predictivo, checklist semanales

**Riesgos importantes pero con menor frecuencia (índice 6–8)**

* **Fallo eléctrico**
* **Sobrecalentamiento batería**
* **Fallo de vacío**
* **Acceso no autorizado**

**Medidas clave**:

* Aislamiento eléctrico y LOTO
* Sistema de monitoreo térmico (BMS + sensores)
* Uso de redundancia mecánica (gripper híbrido)
* Interlocks y control de acceso RFID{

Normativa a tenert en cuenta:

**Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)**

* Congreso de Colombia. (2012). *Ley 1562 de 2012: Por la cual se modifica el Sistema General de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en materia de Salud Ocupacional*. Diario Oficial No. 48.488. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49969
* Ministerio del Trabajo. (2015). *Decreto 1072 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo*. https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/108859/Decreto+1072+de+2015.pdf
* Ministerio del Trabajo. (1989). *Resolución 1016 de 1989: Por la cual se reglamenta la organización, funcionamiento y forma de los programas de salud ocupacional*. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2782
* Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979). *Resolución 2400 de 1979: Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo*. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1915

**Seguridad en maquinaria industrial y robótica**

* Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC. (2007). *NTC 2506: Protección de las máquinas – Principios generales para el diseño – Evaluación del riesgo y reducción del riesgo*. Bogotá: ICONTEC.
* ICONTEC. (2008). *NTC 5684: Requisitos de seguridad para máquinas-herramienta. Parte 1: Especificaciones generales*. Bogotá: ICONTEC.
* International Organization for Standardization. (2011). *ISO 10218-1: Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots*. Geneva: ISO.
* International Organization for Standardization. (2011). *ISO 10218-2: Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: Robot systems and integration*. Geneva: ISO.
* International Organization for Standardization. (2006). *ISO 13849-1: Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design*. Geneva: ISO.
* International Organization for Standardization. (2016). *ISO 13850: Safety of machinery — Emergency stop function — Principles for design*. Geneva: ISO.

**Instalaciones eléctricas y certificaciones**

* Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)*. República de Colombia. https://www.minenergia.gov.co/retie
* Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC. (2022). *Sistema de Gestión de la Calidad – ISO 9001:2015*. Bogotá: ICONTEC.

**Estándares internacionales de gestión**

* International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001: Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use*. Geneva: ISO.
* British Standards Institution. (2007). *OHSAS 18001: Occupational Health and Safety Management Systems – Requirements*. London: BSI.