

# Diseño de la celda robotizada

## 1. Explicación del proceso que se desea robotizar

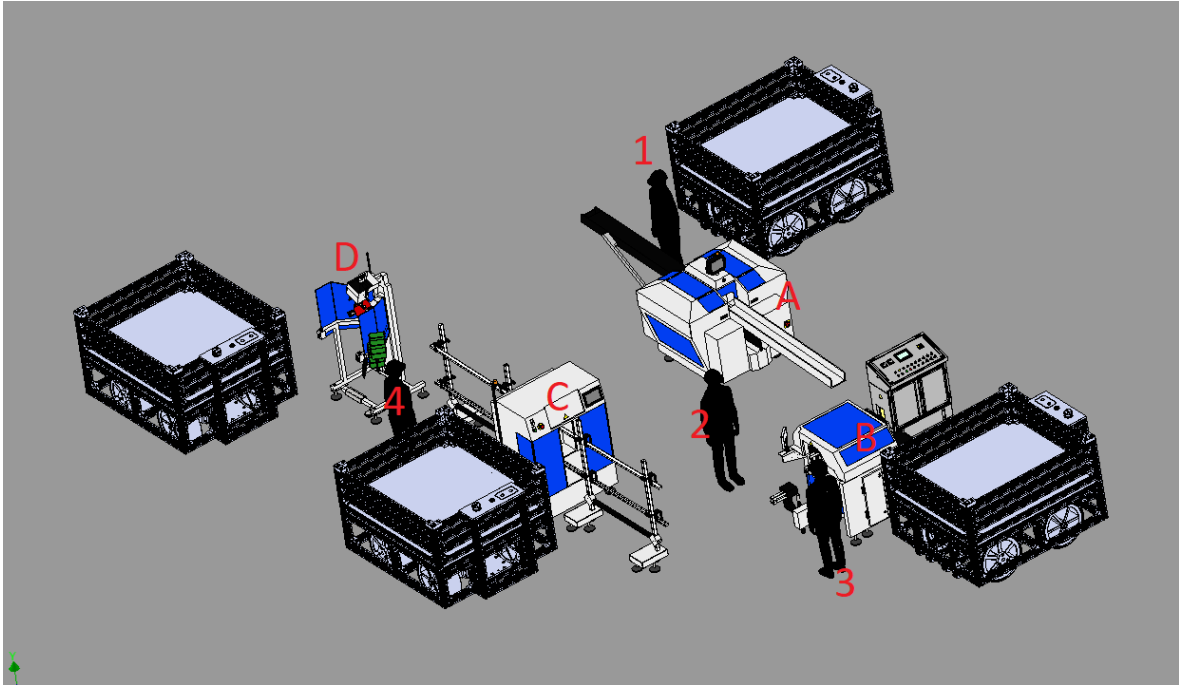
El proceso de ensamblaje de las ruedas de las bicicletas eléctricas, hace uso de 4 máquinas fabricadas por la compañía Holland Mechanics:

- a. Hub Filling (<https://hollandmechanics.com/bicycle-wheel/hub-filling-station-hfs/>)
- b. Inline Lacing (<https://hollandmechanics.com/bicycle-wheel/inline-lacing-il/>)
- c. Robot Quattro (<https://hollandmechanics.com/bicycle-wheel/robot-quattro/>)
- d. Tyre Mounting Console (<https://hollandmechanics.com/bicycle-wheel/tyre-mounting-console-tmc/>)

La primera etapa, realizada por Hub Filling, pone los radios en el buje o hub. La segunda etapa, realizada por Inline Lacing, toma al buje con radios y conecta el otro extremo de cada uno en el rin. La tercera etapa, realizada por Robot Quattro, tiempla los radios para que queden bien tensionados. Y por último la quinta etapa, realizada por Tyre Mounting Console, agrega el neumático y lo infla.

De esas cuatro máquinas, solo Hub Filling y Robot Quattro son totalmente automáticas; mientras que Inline Lacing y Tyre Mounting Console requieren de la ejecución del trabajo de manera conjunta con un humano para funcionar.

La imagen a continuación ilustra lo anteriormente explicado:



Suponiendo el caso de que se fabriquen las ruedas sin intervención robótica, se requieren cuatro obreros numerados del 1 al 4 en la anterior figura. El obrero 1 pone el Hub o el buje en la alimentación de la máquina A (Hub Filling), el hub o buje con los radios salen de esta máquina para que el obrero 2 lo instale en la máquina B (Inline Lacing). Como se mencionó anteriormente la máquina B requiere de la acción conjunta con el obrero 3 para poder realizar su trabajo. Al finalizar la máquina B, el obrero 2 toma el producto y lo lleva a la máquina C (Robot Quattro), la cual tiene un sistema de alimentación por rieles. Finalmente, el obrero 4 toma el producto obtenido de la salida de la máquina C (Robot Quattro), y le instala el neumático y lo infla con ayuda de la máquina 4.

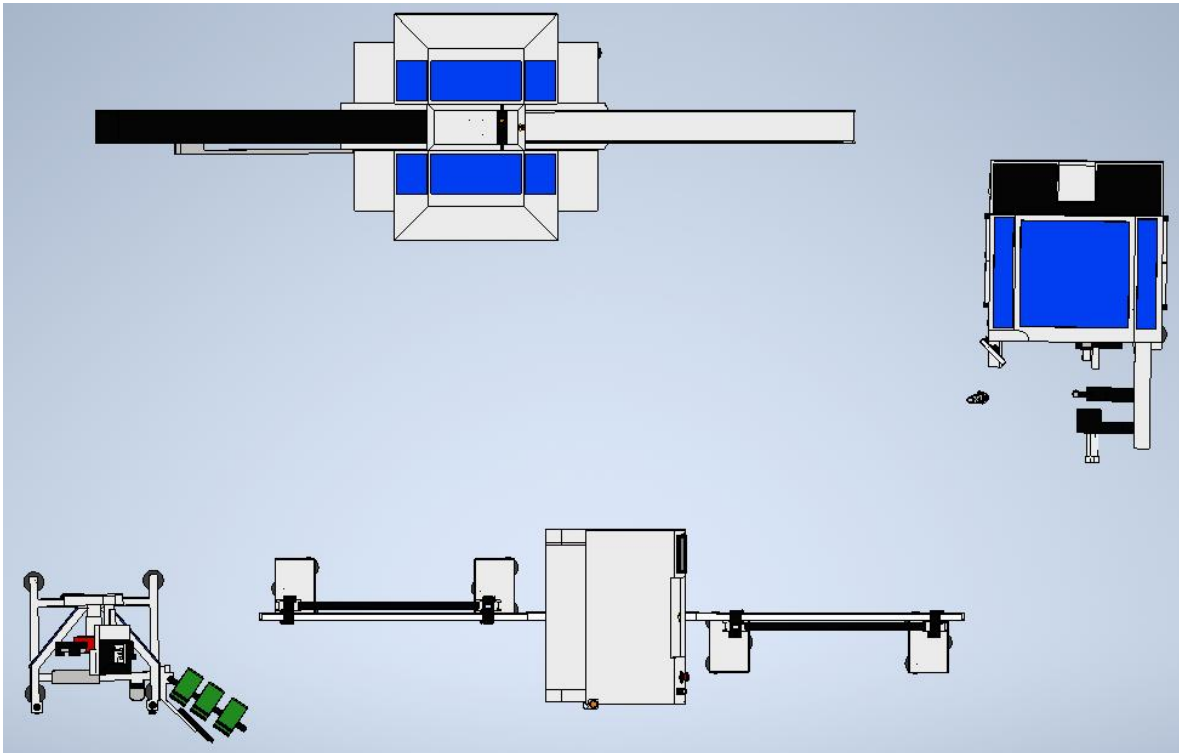
Todas las 4 máquinas están comunicadas y configuradas de tal forma que no liberen el producto en su salida, mientras la siguiente no lo haya hecho. De esa forma, no hay acumulaciones y no es necesario contenedores para almacenar productos intermedios entre dos estaciones.

A partir de videos de Youtube, hemos determinado que una persona demora aproximadamente 8 segundos para insertar y asegurar el HUB y el rin en la máquina B. Si a eso le sumamos los aproximadamente 6 metros que debe caminar para ir y volver de una máquina a otra, a una velocidad razonable de caminado de 1 m/s, entonces la máquina B

tendrá que esperar aproximadamente 14 segundos desde que termina un trabajo hasta que comienza el siguiente, representando esto un cuello de botella.

## 2. Justificación de la implementación de la celda robótica mediante la obtención del ROI

Las tareas realizadas por los obreros 1 y 2 son altamente repetitivas y predecibles, lo cual es perfecto para programar en un robot. Además, los robots son mucho más adecuados en este tipo de tareas ya que suelen llevarlas a cabo de manera más eficiente, sin cansancio y sin distracciones, eliminando errores humanos y reduciendo el nivel de riesgo laboral. Es por esto que, en la industria, el tending es una de las aplicaciones más comunes de celdas robóticas. Por estos motivos, se ha propuesto que, de toda la línea de producción, la fabricación de las ruedas es la etapa más adecuada



para implementar una celda robótica.

Gracias a la velocidad de los robots, precisión y coordinación con las otras máquinas, el tiempo de 14 segundos realizado por el obrero 2 para tomar la pieza de la salida de la máquina A y alimentar la entrada de la máquina B, puede ser reducido bastante. Teniendo en cuenta que, de acuerdo al fabricante, el tiempo de ciclo mínimo de las máquinas A, B, C y D es de 30 segundos, entonces mediante una regla de 3 se puede demostrar que en 1

hora la línea con humanos producirá 81 unidades ( $3600/(30+14)$ ), pero con un robot del doble de velocidad, se alcanzarían a fabricar 97 unidades ( $3600/(30+7)$ ). Esto representa una ganancia de productividad del 19.75%.

Como se explicó anteriormente, dos de las máquinas son totalmente automáticas, por lo que solo necesitan ser alimentadas con materia prima. En la celda de manufactura sin robots explicada en el apartado anterior, dos obreros son los encargados de alimentarlas: el obrero 1 alimenta a la máquina A, mientras el obrero 2 alimenta a la máquina B (y también la C). Si se implementa la celda robótica para realizar estas tareas, el personal necesario para el proceso pasaría de 4 obreros a solo 2, una reducción del 50%.

Por otro lado, supongamos como primera iteración una inversión inicial aproximada de 70000 dólares para la implementación de la celda. Adicionalmente recordemos que la fábrica trabaja a doble jornada de lunes a sábado, y que cada obrero de la celda le cuesta a la empresa 1000 dólares mensuales incluyendo prestaciones, lo cual representa 13000 dólares anuales incluyendo prima.

Con estos datos podemos hacer uso de la siguiente herramienta web (<https://www.automate.org/robotics-roi-calculator>) la cual nos permite obtener un estimativo del retorno de la inversión. A continuación, mostramos una captura de pantalla de sus parámetros de entrada:

? **Total System Cost:** \$ 70,000
 **Quantity of Robots:** 1

---

### VARIABLES FOR CURRENT OPERATIONAL COSTS

**1 Robot System Usage:**  
Disclaimer: Average Robot Electrical costs are roughly \$.50 per hour

2 Shifts/Day
 6 Days/Week
 50 Weeks/Year

**2 Annual Labor Costs per Operator,Including Fringe Benefits:**  
Disclaimer: Average Robot Electrical costs are roughly \$.50 per hour

\$ 13,000

**3 Number of Operators per Shift Removed:**

2

**4 Percentage of Labor Retained to Operate System per Shift:**

50 %

**5 Expected Productivity Gain:**

20 %

**6 Other Estimated Savings:**  
Additional Statement: We have found that there are often a number of additional unforeseen or industry specific values associated with the installation of Robotic Systems, such as: Scrap/Rework Saving, Material Savings, etc.

\$ 0

CALCULATE...

Y a continuación se muestran los resultados arrojados por la herramienta web:



Esto significa que después de 2 años y 7 meses, la empresa va a recuperar el dinero invertido (ROI), un resultado considerado casi siempre como suficiente para la mayoría de las empresas. Adicionalmente, la página nos arroja información de las ganancias obtenidas después de 15 años gracias a la celda robótica respecto a la celda sin robot: casi 450000 dólares por ahorro en gastos de personal y 90000 dólares por aumento de la productividad.

También se comparte información más detallada de cada año como se muestra en la siguiente captura de pantalla:

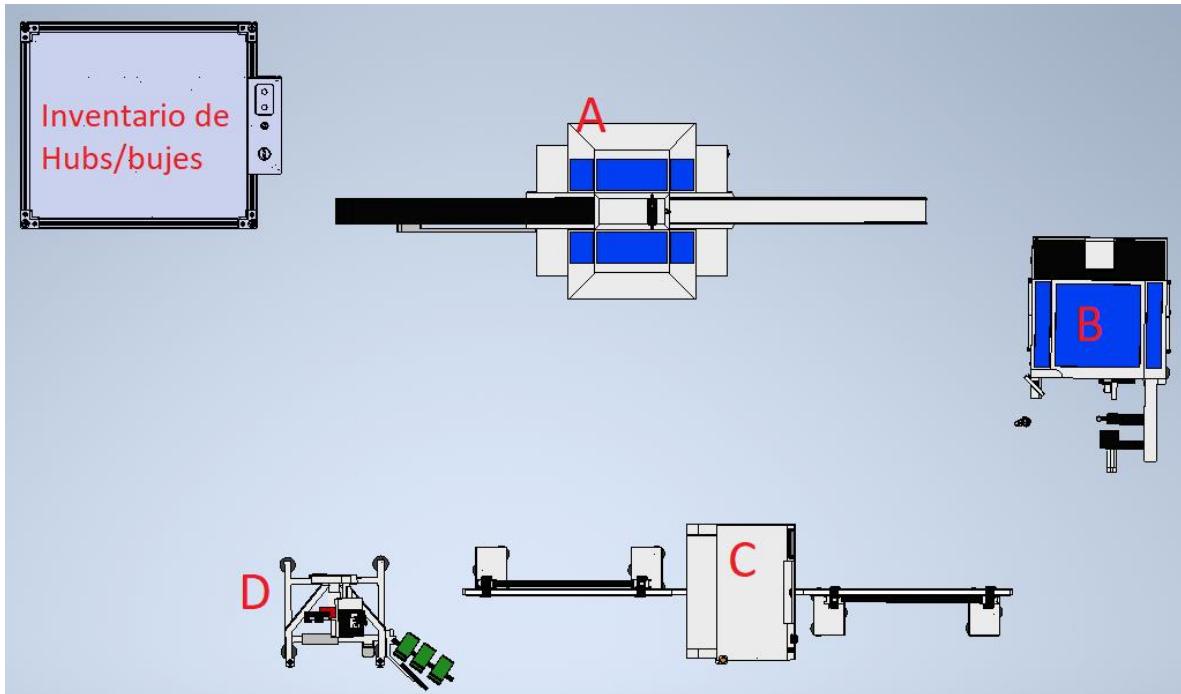
| Year   | System Costs ? | Maintenance Costs ? | Operating Costs* ? | Labor Savings** ? | Productivity Savings*** ? | Other Savings | Yearly Cash Flow | Cumulative Cash Flow |
|--------|----------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|---------------|------------------|----------------------|
| 1      | \$ 70,000      | \$ 500              | \$ 3,600           | \$ 26,000         | \$ 5,200                  | \$ 0          | \$ -42,900       | \$ -42,900           |
| 2      |                | \$ 500              | \$ 3,672           | \$ 26,520         | \$ 5,304                  | \$ 0          | \$ 27,652        | \$ -15,248           |
| 3      |                | \$ 500              | \$ 3,745           | \$ 27,050         | \$ 5,410                  | \$ 0          | \$ 28,215        | \$ 12,967            |
| 4      |                | \$ 500              | \$ 3,820           | \$ 27,591         | \$ 5,518                  | \$ 0          | \$ 28,789        | \$ 41,756            |
| 5      |                | \$ 5,000            | \$ 3,897           | \$ 28,143         | \$ 5,629                  | \$ 0          | \$ 24,875        | \$ 66,632            |
| 6      |                | \$ 500              | \$ 3,975           | \$ 28,706         | \$ 5,741                  | \$ 0          | \$ 29,973        | \$ 96,604            |
| 7      |                | \$ 500              | \$ 4,054           | \$ 29,280         | \$ 5,856                  | \$ 0          | \$ 30,582        | \$ 127,186           |
| 8      |                | \$ 500              | \$ 4,135           | \$ 29,866         | \$ 5,973                  | \$ 0          | \$ 31,204        | \$ 158,390           |
| 9      |                | \$ 500              | \$ 4,218           | \$ 30,463         | \$ 6,093                  | \$ 0          | \$ 31,838        | \$ 190,228           |
| 10     |                | \$ 30,000           | \$ 4,302           | \$ 31,072         | \$ 6,214                  | \$ 0          | \$ 2,985         | \$ 193,212           |
| 11     |                | \$ 500              | \$ 4,388           | \$ 31,694         | \$ 6,339                  | \$ 0          | \$ 33,144        | \$ 226,357           |
| 12     |                | \$ 500              | \$ 4,476           | \$ 32,328         | \$ 6,466                  | \$ 0          | \$ 33,817        | \$ 260,174           |
| 13     |                | \$ 500              | \$ 4,566           | \$ 32,974         | \$ 6,595                  | \$ 0          | \$ 34,503        | \$ 294,677           |
| 14     |                | \$ 500              | \$ 4,657           | \$ 33,634         | \$ 6,727                  | \$ 0          | \$ 35,204        | \$ 329,881           |
| 15     |                | \$ 500              | \$ 4,750           | \$ 34,306         | \$ 6,861                  | \$ 0          | \$ 35,918        | \$ 365,798           |
| TOTALS |                | \$ 41,500           | \$ 62,256          | \$ 449,629        | \$ 89,926                 | \$ 0          |                  |                      |

Vale la pena aclarar que la aplicación web asume una inflación del 2% efectivo anual.

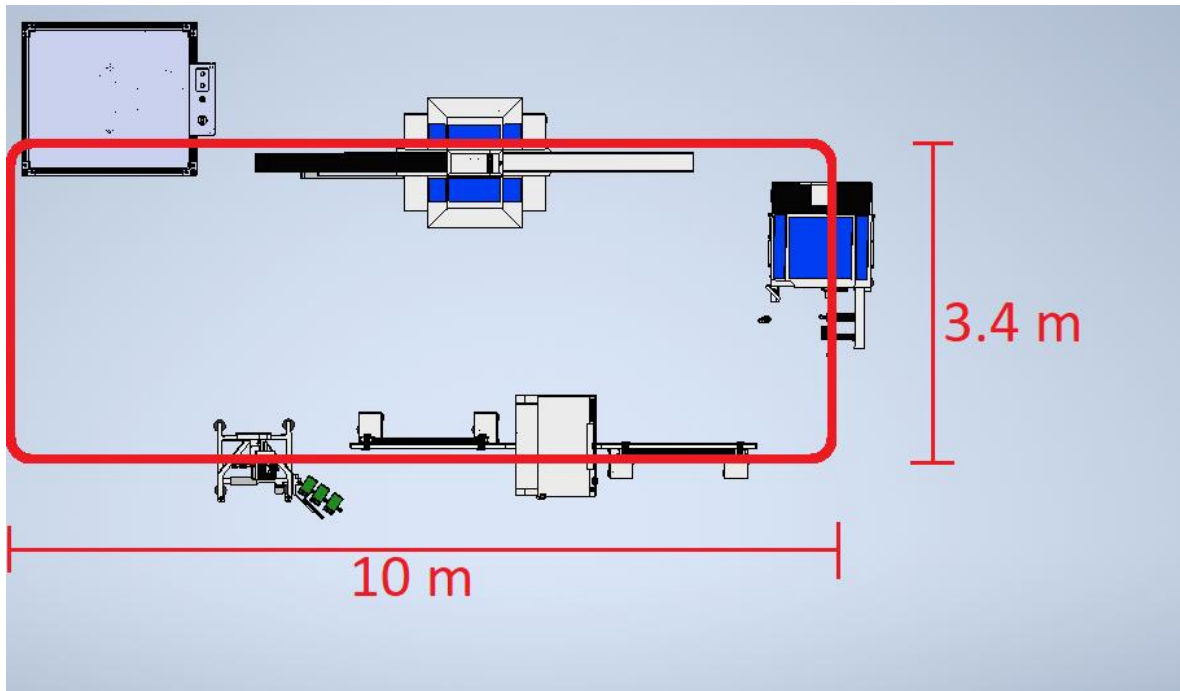
Estos resultados parciales los consideramos argumentos suficientes por lo menos para hacer el diseño de la celda robotizada. Más adelante, cuando el diseño haya finalizado, tendremos valores más realistas que nos permitirán darnos una idea de manera más confiable si realmente vale la pena o no la inversión.

### 3. Diseño de la celda robotizada

Como se mencionó en el anterior apartado, la idea es que el robot realice las tareas de los obreros 1 y 2. Por lo tanto, con el fin de que el robot pueda interactuar con la máquina A, B y C de la manera más práctica y óptima, se decide implementar un layout en U. Entonces se ubican las 4 máquinas siguiendo este patrón como se muestra a continuación:



El robot tendrá que interactuar con las máquinas A, B y C; y también con un inventario de hubs y bujes para alimentar a la máquina A. Con base en esta información, dibujamos el área de acción aproximada que deberá tener el robot, como se muestra en la imagen a continuación:

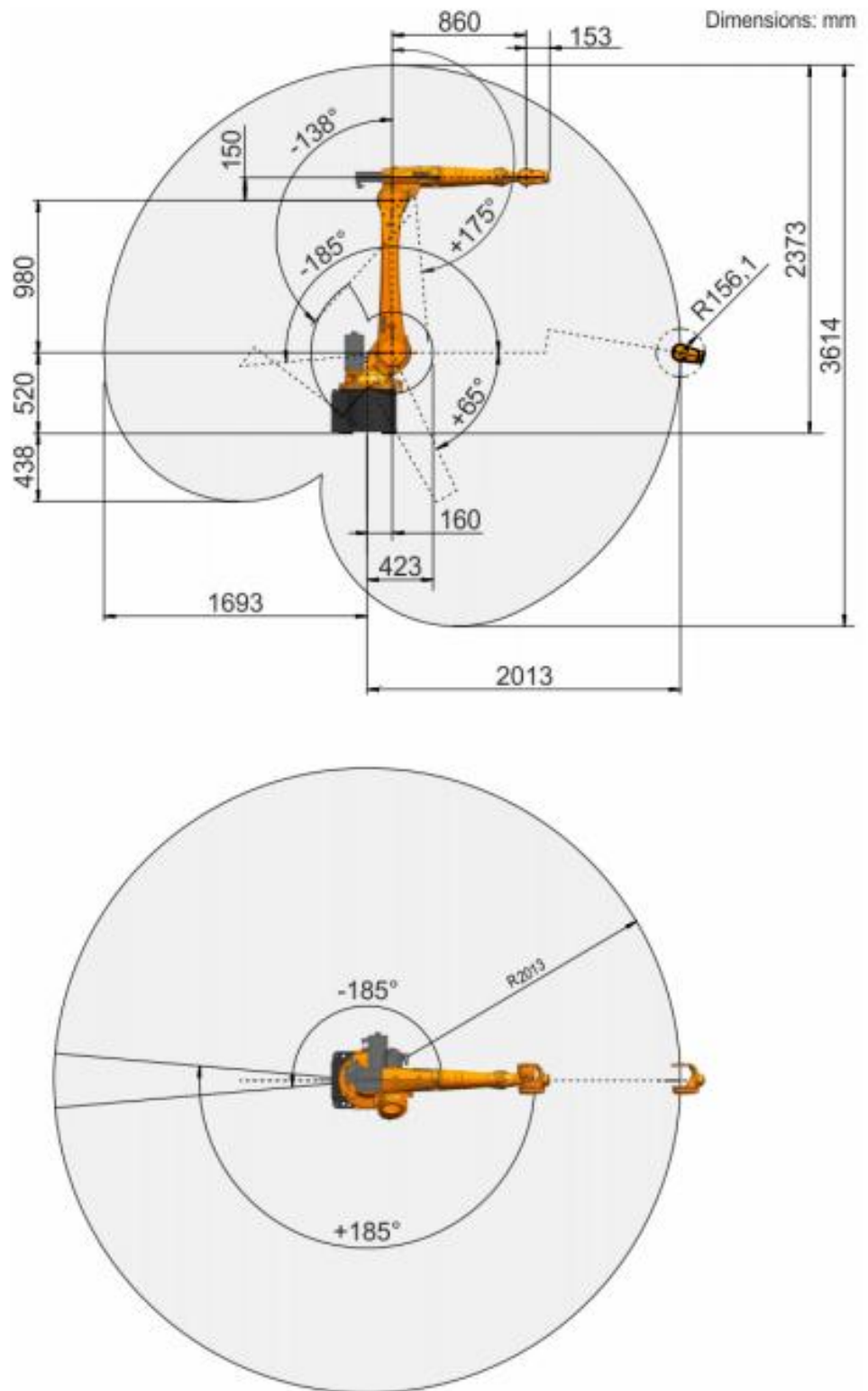


Por lo tanto, el espacio de trabajo del robot debe cubrir un área de 10m x 3.4m. La propuesta para lograr esto es usar un riel de 10m a lo largo del cual un robot con alcance horizontal mayor a 1.7m se pueda mover linealmente. Con esta información, y sabiendo que el peso máximo de una rueda de bicicleta es de 2.5kg y el del hub es de 2.3kg, entonces pasamos a seleccionar un robot adecuado que satisfaga nuestras necesidades teniendo en cuenta esas características.

Se decide seleccionar el Robot KUKA KR 8 R2010-2. En la captura de pantalla de su Datasheet se muestran sus especificaciones de espacio de trabajo:



**Working envelope, KR 8 R2010-2**



**Fig. 4-2: Working envelope, overall view, KR 8 R2010-2**

Como se puede observar tiene un alcance de 2.01 m, por lo que cumple con las exigencias de la aplicación. Así mismo, a continuación se muestra sus especificaciones de carga:

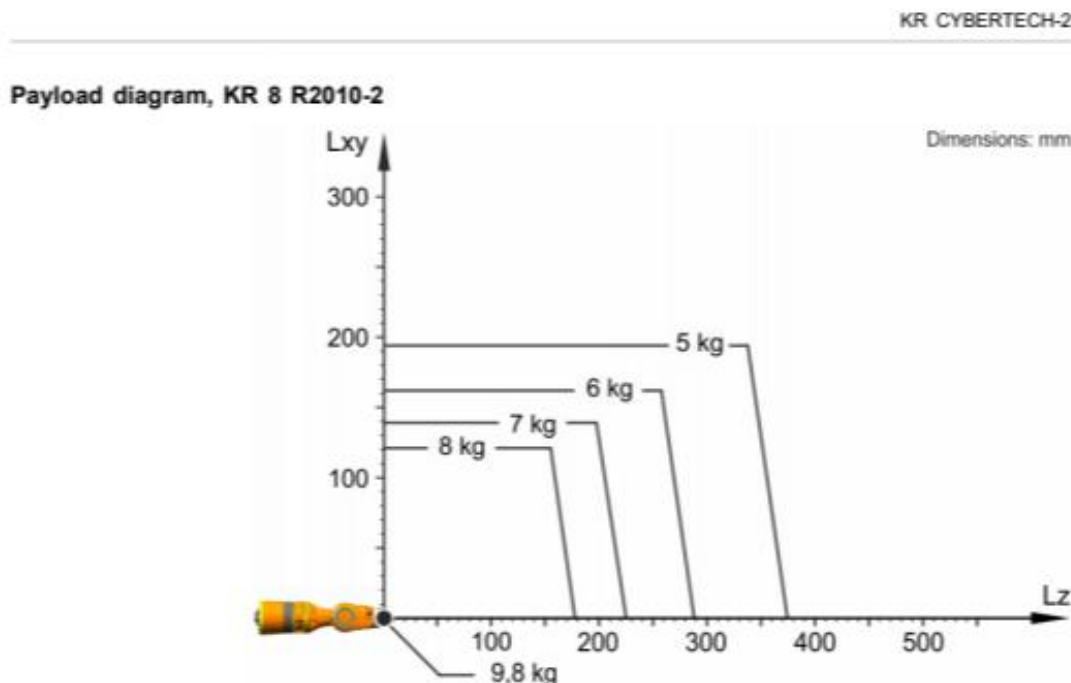


Fig. 4-15: Payload diagram, KR 8 R2010-2

La curva de carga en función de su alejamiento al TCP, muestra que puede cargar más de los 4.8kg que pesa la rueda con Hub, incluso cuando el peso está concentrado hasta 20cm alejado del plano perpendicular del eje de aproximación del efector. Esto significa que también cumple con el requerimiento de la aplicación.

Mencionar que en Alibaba el robot cuesta 26.000 dolares puesto en el puerto de Schenzen China, como se observa a continuación.

6-axis KR 8 R2010-2 KUKA Industrial Robot with Small Robotic Arm with Schunk Gripper and Robot 7th Axis for Handling Palletizing

No reviews yet

Gongboshi Robot Technology Co., Ltd. · Verified Multispecialty Supplier · 5 yrs · CN



1 - 4 sets \$28,000 5 - 9 sets \$27,000 >= 10 sets \$26,500

Variations

Select now

Application(2): Load

Load Other

Model Number(1)

KUKA KR 8 R2010-2

Customization options

- Customized logo (Min. order: 1 set)
- Customized packaging (Min. order: 1 set)
- Graphic customization (Min. order: 1 set)

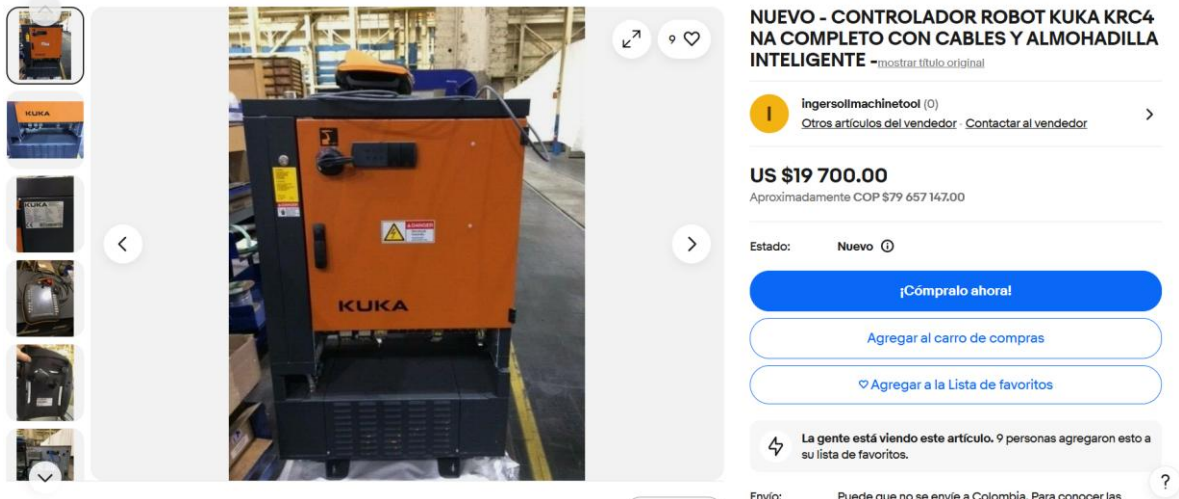
Supplier's customization ability **Verified**

- Drawing-based customization

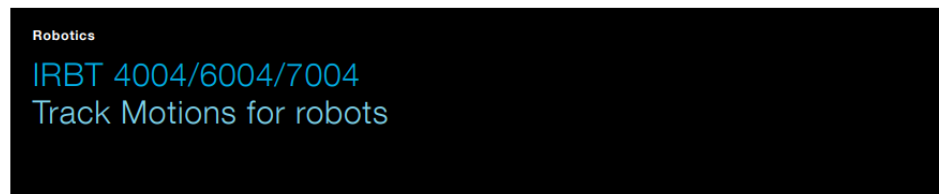
Send inquiry

Chat now

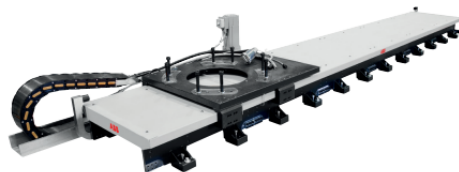
El siguiente paso consiste en seleccionar el controlador para el robot, el cual según manual debe ser el Kuka KRC4 que en Ebay cuesta 19700 dólares puesto también en el puerto de Shenzen China.



Ahora se selecciona un riel de 10 metros, encontrándose el modelo ABB IRBT 6004 el cual se muestra a continuación y cuesta 6240 dólares.



The IRBT X004 from ABB is the only track motion platform on the market to guarantee high speed, precision accuracy, and great flexibility.



#### Outstanding speed and accuracy

As first on the market, ABB's track motions and its respective robot is a seven-axis dynamic model. ABB's unique Quick-Move and TrueMove can be fully exploited, which means optimal movement for the robot and the track with actual load. Furthermore, path accuracy and speed are optimized.

The speed position-to-position, which is the real benchmark

#### Options


- Mirrored version
- Double carriages
- Pedestals
- Customer Signal and power cable (spot welding, material handling, etc)
- Lubrication (standard = manual lubrication)
  - Prepared for local adaptation (no pump included)

Para alimentar a la celda robótica, se usan vehículos AGV de dos tipos. El primer tipo, sirve para el transporte de los neumáticos, los hub o bujes, el rin y como inventario de salida. Se seleccionó modelo XBOT-AGV600YK con capacidad de 600kg, cuyo precio es de 3450 dolares en Alibaba China, como se observa en la siguiente captura:

Robot XBOT AGV de control de aplicaciones para logística de almacén, navegación de banda magnética, manejo de materiales pesados, vehículo guiado automatizado

No hay opiniones

Guangzhou Daxiang Technology Development Co., Ltd. · 2 yrs · CN



**Variaciones** [Editar selecciones](#)

Número de Modelo(1): XBOT-AGV600YK

XBOT-AGV600YK

Capacidad de carga(1)

600KG

Opciones de personalización >

- Módulo de cargador inalámbrico +749,99 US\$/conjunto (Pedido mín.: 1 conjunto)
- Personalización de velocidad +99,99 US\$/conjunto (Pedido mín.: 1 conjunto)

Envío

La tarifa de envío y la fecha de entrega se pueden negociar. Habla con el proveedor para más detalles.


Enviar consulta Chatear

Por otro lado, también se seleccionó un vehículo AGV para transportar los bujes, modelo Zhejiang Caroon 5T. A este vehículo se le adecuo una especie de estantería, específicamente para que el robot pudiera agarrar los bujes fácilmente. Cesta 7420 dólares en Alibaba como se muestra a continuación.

New Style Hot Selling 5t Non-Rail Transfer Cart and Load-Bearing Flat Car for Transport Platform Trackless Flat Car

No reviews yet

Zhejiang Caroon E-Porter Co., Ltd. · 1 yr · CN



**Variations** [Edit selections](#)

Model Number(1)

5t Trackless flat car

Customization options >

- Customized logo (Min. order: 1 set)
- Customized packaging (Min. order: 1 set)
- Graphic customization (Min. order: 1 set)

Shipping

Shipping fee and delivery date to be negotiated. Chat with supplier now for more details.

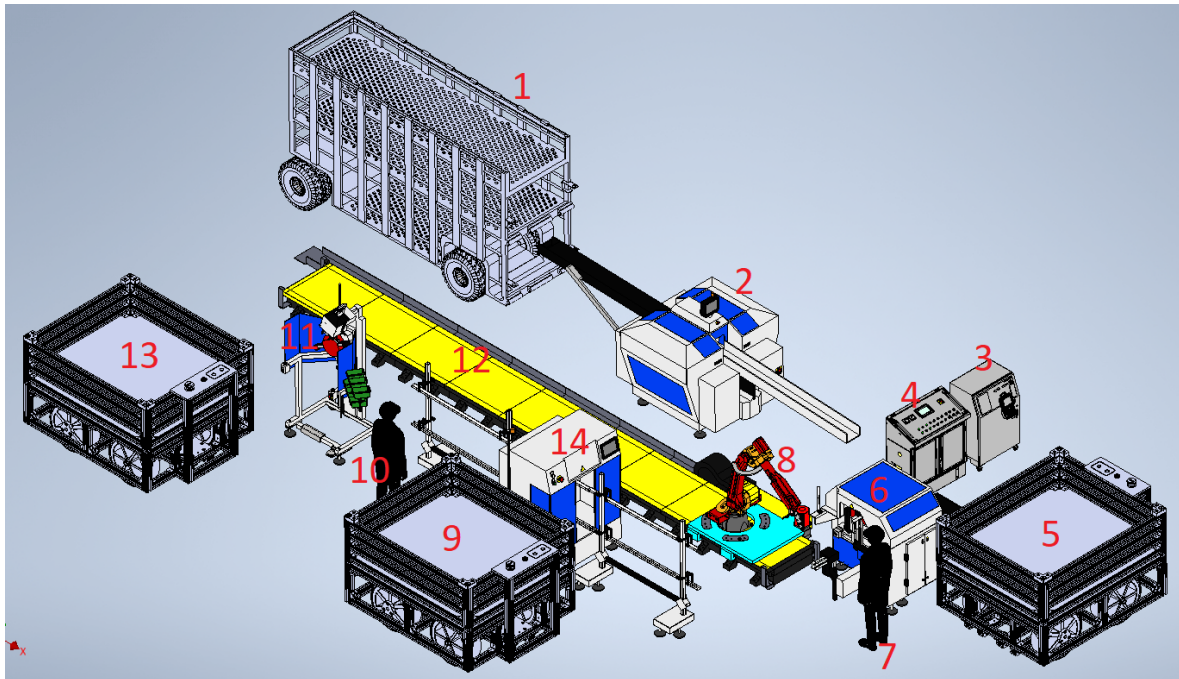
Send inquiry Chat now

Protections for this product >

Secure payments

Every payment you make on Alibaba.com is secured with

Finalmente, a continuación se muestra la celda robótica diseñada, con cada una de sus partes y una breve explicación de su función:



- **1. Zhejuang Caroon 5T con estantería:** Vehículo AGV que se encarga de transportar los bujes desde el área de recepción de materiales hasta la celda robótica, para que una vez allí, sirva como inventario para que el robot pueda tomarlas fácilmente.
- **2. Holland Hub Filling:** Máquina automática que introduce los radios al buje.
- **3. Kuka KRC4:** Controlador del robot KUKA KR 8 R2010-2.
- **4. Tablero eléctrico de la celda robótica:** Contiene el PLC,, elementos de protección, fuente, y todo lo necesario para que la celda funcione.
- **5. XBOT-AGV600YK:** Vehículo AGV que sirve para transportar y funciona como inventario de rines.
- **6. Holland Inline Lacing:** Máquina que ayuda al operario 1 a poner los radios en el rin.
- **7. Operario 1:** Persona que usa la Holland Inline Lacing para poner los radios en el rin.
- **8. Robot KUKA KR 8 R2010-2:** Robot que hace tending alimentando a la Holland Hub Filling, a la Holland Inline Lacing y a la Robot Quattro. Tambien retira el producto de la Holland Hub Filling.
- **9. XBOT-AGV600YK:** Vehículo AGV que sirve para transportar y funciona como inventario de neumáticos.
- **10. Operario 2:** Persona que usa la máquina Holland Tyre Mounting Console para colocar el neumático en el rin, e inflarla.



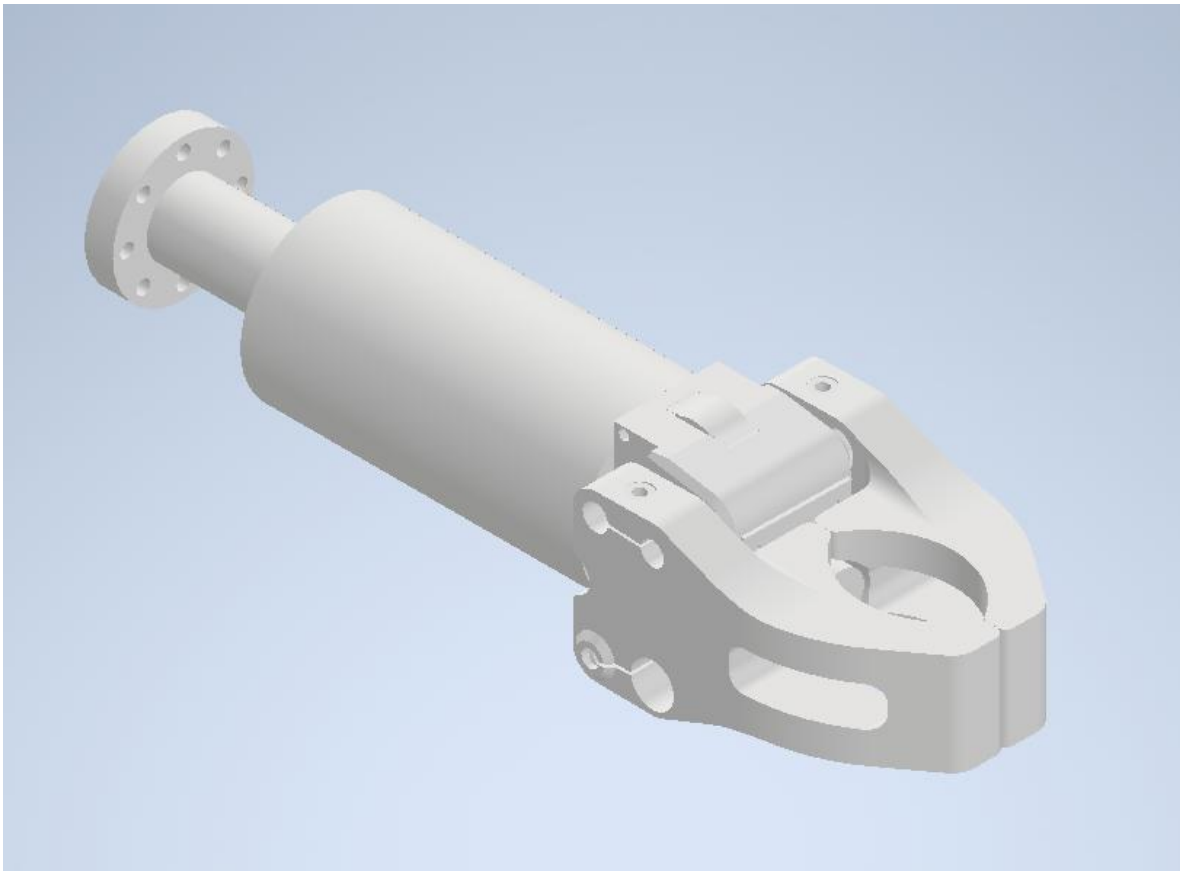
- **11. Holland Tyre Mounting Console:** Máquina que ayuda al operario 2, a poner el neumático en el rin.
- **12. ABB IRBT 6004:** Riel de 10 metros que le da movimiento lineal al robot KUKA KR 8 R2010-2, aumentando su espacio de trabajo.
- **13. XBOT-AGV600YK:** Vehículo AGV que sirve como inventario de salida de la celda, y sirve para transportar las llantas finalizadas a la línea producción principal.
- **14. Robot Quattro:** máquina automática que tiempla los radios en el rin, dejandolos bien tensos y firmes.

## 4. Diseño de la herramienta efector final

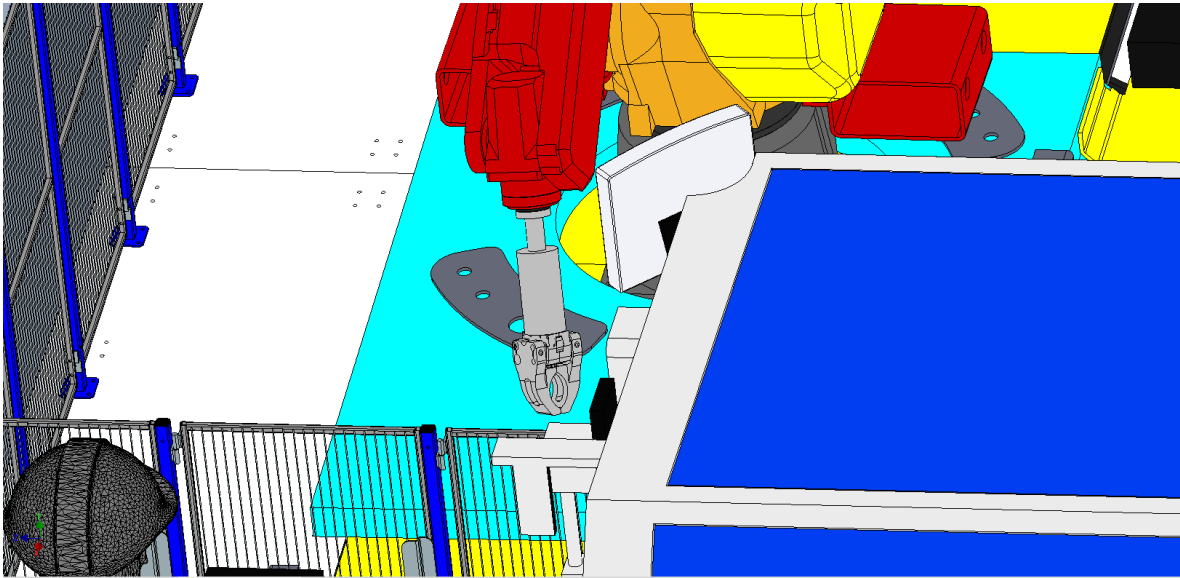
El objeto que siempre va a agarrar el robot es el hub o buje. Por lo tanto, para poder diseñar el efector final, el primer paso consiste en analizar la geometría y las características del hub y decidir de donde lo va a agarrar. A continuación, se muestra el hub usado en nuestra planta.



Como se puede observar, posee una rosca 3/8 a ambos lados. Consideramos que la manera más conveniente para que el robot lo agarre, es a través de esta rosca. Entonces diseñamos un efector final especialmente adaptado a estas dimensiones, para que cuando cierre, lo agarre de esa parte. Una imagen del CAD realizado se muestra a continuación:

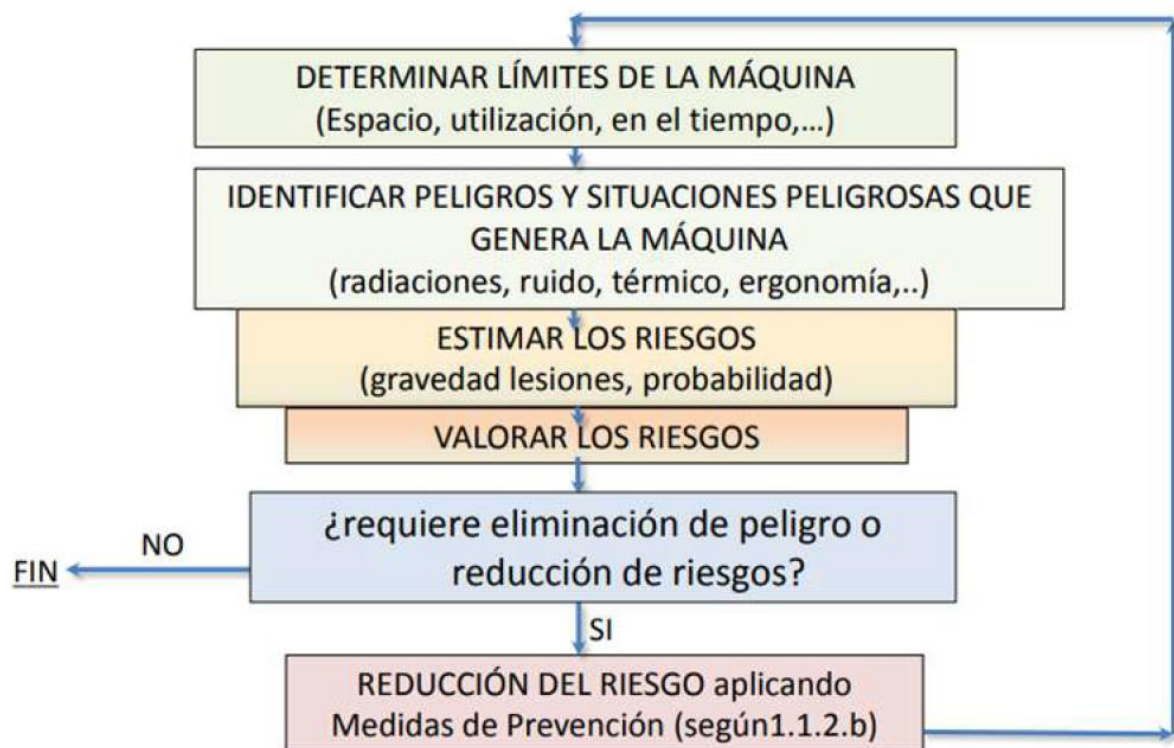


Es importante mencionar, que para evitar dañar la rosca del hub o buje, la parte interna de la pinza está cubierta con una delgada espuma. En el cuerpo del efector se encuentra un motor eléctrico para abrir y cerrar la pinza. Su base encaja perfectamente con el flanche del robot, y requiere de 8 tuercas métricas M5 para su ajuste. Debido a su geometría, el uso de tornillos no es posible. A continuación se muestra este efector final instalado en el CAD del robot.



## 5. Análisis y gestión de riesgos

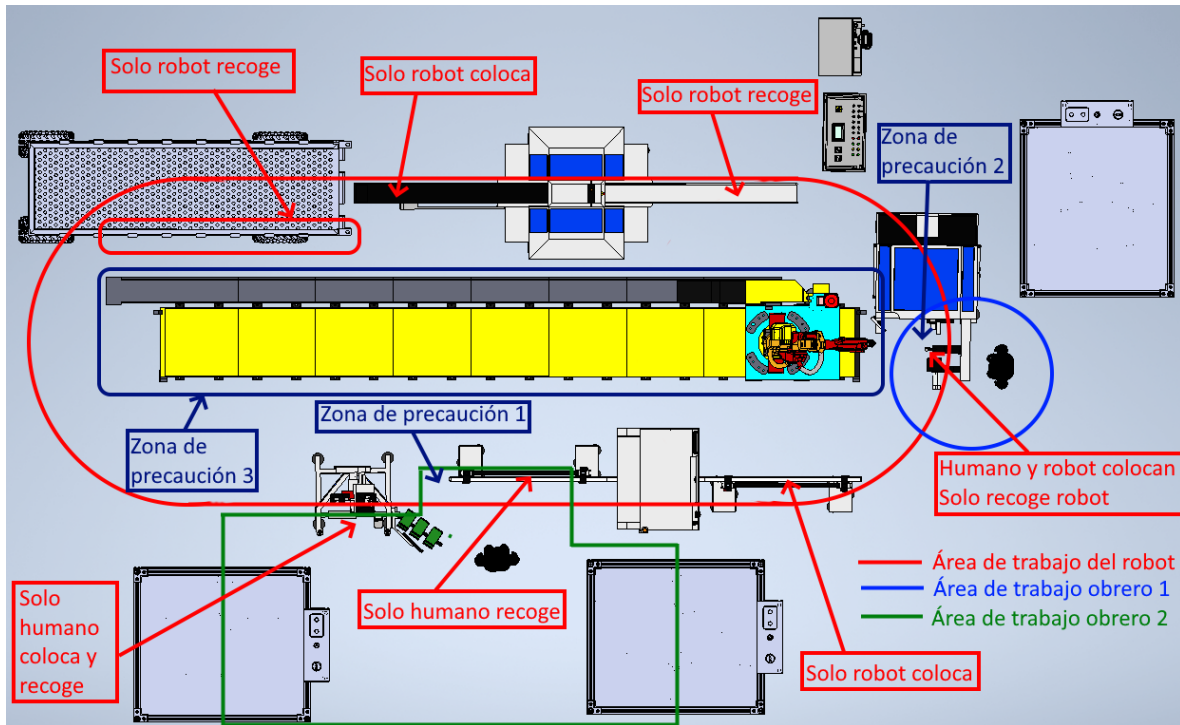
Para el análisis y gestión de riesgos, nos basamos en el siguiente flujo sacado de las diapositivas de clase:





- **Determinación de los límites de la máquina**

Para determinar los límites de la máquina, se realizó un análisis de la zona de trabajo, como se muestra a continuación:



Gracias a esta figura, se pudieron identificar 3 zonas de precaución:

- **Zona 1:** Corresponde a la intersección o zona compartida, entre el área de trabajo del obrero 2 con el área de trabajo del robot.
- **Zona 2:** Es la zona más crítica debido a que no solo corresponde a la intersección entre el área de trabajo del obrero 1 con el área de trabajo del robot, sino que además tanto el robot como el obrero 1 colocan y recogen piezas en el mismo lugar.
- **Zona 3:** Corresponde a las inmediaciones alrededor del riel. Aunque en esta zona no haya obreros continuamente laborando, es una zona donde de manera periódica, personal de mantenimiento de las máquinas acceden. Así mismo, para hacer setup a las máquinas es necesario entrar a esta zona.

- **Identificación de peligros**

Basados en la anterior imagen, se identificaron los siguientes peligros:

- **Golpe del robot a las personas:** Hay dos trabajadores dentro del área de alcance del robot y del riel, correspondiente a la zona de precaución 1 y 2. El robot podría golpearlas.
- **Atropellamiento del riel a las personas:** Aunque la mayor parte del tiempo no hay personas en las inmediaciones directas del riel, sí las puede haber durante procesos de mantenimiento o setup de las maquinas Holland. Una persona podría ser atropellada.
- **Atrapamiento en el riel:** Entre el chasis del riel y la estructura, las guías del riel pueden generar puntos de atrapamiento para los obreros. Así mismo, las poleas, engranajes y demás mecanismos del riel también podrían representar puntos de atrapamiento.
- **Atropellamiento del AGVs a las personas:** Los obreros y los vehículos AGV comparten espacios de trabajo. Por lo tanto podría haber un atropellamiento cuando uno de estos esté entrando o saliendo.

## • Evaluación de riesgos

Para realizar la evaluación de riesgos existen varios métodos. Por su claridad y facilidad de usos nosotros hemos seleccionado el “Hazard rating number”. Este método multiplica cuatro índices los cuales hemos mostrado en la siguiente figura:

| Frecuencia de exposición (F)            | HRN | Probabilidad de ocurrencia (O)    | HRN |
|---|-----|-----------------------------------|-----|
| Anualmente                              | 0.5 | Casi imposible                    | 0.1 |
| Mensualmente                            | 1   | Muy improbable                    | 1   |
| Semanalmente                            | 1.5 | Improbable                        | 1.5 |
| Diario                                  | 2.5 | Posible – Inusual                 | 2   |
| Cada hora                               | 4   | Probable – Podría pasar           | 5   |
| Constante ( Menos de 1 hora)            | 5   | Probable – No sería sorprendente  | 8   |
|   |     | Muy probable – Se espera que pase | 10  |
|   |     | Seguro – Sin duda sucederá        | 15  |
| Severidad de posible lesión (S)         | HRN | Número de Personas (P)            | HRN |
| Herida superficial (Moretón, rasguño)   | 0.1 | 1 a 2 Personas                    | 1   |
| Corte, laceración menor (Primeros aux.) | 0.5 | 3 a 7 Personas                    | 2   |
| Fractura de hueso menor                 | 2   | 8 o más personas                  | 4   |
| Fractura de hueso mayor                 | 4   |                                   |     |
| Pérdida de una extremidad               | 6   |                                   |     |
| Pérdida de dos extremidades             | 10  |                                   |     |
| Fatalidad (Muerte)                      | 15  |                                   |     |

Al resultado de esa multiplicación se le ha llamado índice HRC y se lo evalúa usando la tabla mostrada a continuación:

| HRN Total | Riesgo                          | Acción   |
|-----------|---------------------------------|--|
| 0 -5      | Despreciable                    | No son necesarias medidas adicionales a las actuales           |
| 6 – 20    | Bajo, pero existe posibilidad   | Medidas administrativas, señalización y EPP suficientes.       |
| 21 – 50   | Medio, consideración importante | Deben considerarse medidas de mitigación del riesgo.           |
| 51 – 500  | Alto                            | Importante dar prioridad a instalación de medidas.             |
| >500      | Muy alto – Inaceptable          | Instalación de medidas de mitigación de riesgo <b>urgentes</b> |

Por lo tanto vamos a realizar este proceso para cada uno de los peligros, como se observa en la siguiente tabla.

| Peligro                                 | Frecuencia de exposición (F) |       | Severidad de lesión (S)   |       | Probabilidad de ocurrencia (O) |       | Numero de personas (P) |       | HRN Total |
|---|------------------------------|-------|---------------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------------|-------|-----------|
|   | Valoración                   | Valor | Valoración                | Valor | Valoración                     | Valor | Valoración             | Valor |           |
| Golpe del robot a las personas          | Constante                    | 5     | Fatalidad                 | 15    | No sería sorprendente          | 8     | 1 o 2                  | 1     | 600       |
| Atropellamiento del riel a las personas | Diario                       | 2.5   | Fractura de hueso mayor   | 4     | Podría pasar                   | 5     | 1 o 2                  | 1     | 50        |
| Atrapamiento en el riel                 | Diario                       | 2.5   | Pérdida de una extremidad | 6     | Podría pasar                   | 5     | 1 o 2                  | 1     | 75        |
| Atropellamiento del AGVs a las personas | Constante                    | 5     | Fractura hueso menor      | 2     | Improbable                     | 1.5   | 1 o 2                  | 1     | 15        |

Por lo tanto riesgo de “Golpe del robot a las personas” es muy alto, el riesgo de “Atropellamiento del riel a las personas” está entre medio y alto, el riesgo de “Atrapamiento en el riel” es alto y el riesgo de “Atropellamiento del AGVs a las personas” es bajo.

## • Medidas de prevención

Se tomaron las siguientes medidas con el afán de reducir los riesgos:

- **Golpe del robot a las personas**
  - Cambiar el robot por un robot colaborativo.
  - Capacitar al personal sobre zonas de riesgo y operación segura del robot.

- **Atropellamiento del riel a las personas**

- Cercar las inmediaciones directas del riel para evitar acceso a menos que haya mantenimiento.
- Instalar sensores de presencia que detengan el movimiento del riel si detectan personas en su trayectoria.
- Establecer una lógica de enclavamiento que impida el movimiento del riel si el robot no está en posición segura.
- Capacitar al personal sobre los riesgos asociados al movimiento del riel.

- **Atrapamiento en el riel**

- Cercar las inmediaciones directas del riel para evitar acceso a menos que haya mantenimiento.
- Cubrir los puntos de atrapamiento entre el riel y otras estructuras con resguardos físicos.
- Instalar una varilla de emergencia accesible con el pie a lo largo del recorrido del riel.
- Realizar inspecciones periódicas para garantizar el correcto funcionamiento de los resguardos.
- Capacitar al personal sobre la identificación de zonas de atrapamiento y cómo evitarlas.

- **Atropellamiento de los AGVs a las personas**

- Configurar velocidades de operación seguras para las zonas compartidas con personas.
- Implementar señalización visual y auditiva (luces, alarmas) en los AGVs para advertir su presencia.

- Capacitar a los trabajadores sobre las rutas y comportamientos seguros al interactuar con AGVs.

## • Segunda evaluación de riesgos


Después de realizar las medidas de mitigación, se recalcula la evaluación de riesgos como se observa a continuación:

| Peligro                                 | Frecuencia de exposición (F) |       | Severidad de lesión (S)   |       | Probabilidad de ocurrencia (O) |       | Numero de personas (P) |       | HRN Total |
|---|------------------------------|-------|---------------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------------|-------|-----------|
|   | Valoración                   | Valor | Valoración                | Valor | Valoración                     | Valor | Valoración             | Valor |           |
| Golpe del robot a las personas          | Constante                    | 5     | Herida superficial        | 0.1   | Improbable                     | 1.5   | 1 o 2                  | 1     | 0.75      |
| Atropellamiento del riel a las personas | Anual                        | 0.5   | Fractura de hueso mayor   | 4     | Improbable                     | 1.5   | 1 o 2                  | 1     | 3         |
| Atrapamiento en el riel                 | Anual                        | 0.5   | Pérdida de una extremidad | 6     | Improbable                     | 1.5   | 1 o 2                  | 1     | 4.5       |
| Atropellamiento del AGVs a las personas | Constante                    | 5     | Moretón                   | 0.1   | Muy Improbable                 | 1     | 1 o 2                  | 1     | 0.5       |

Como se puede observar, todos los HRN totales son inferiores a 5 y por lo tanto no hay que implementar más medidas.

## • Reselección del robot.

Debido a que una de las medidas de mitigación fue remplazar el robot previamente seleccionado por uno colaborativo, aquí se mostrará el nuevo motor seleccionado. Se trata del Fanuc CRX-25iA, el cual como se observa a continuación su capacidad de carga es hasta de 30kg y tiene un alcance de 1.89 m. En otras palabras, también cumple con los requerimientos. Cuesta 50.000 dolares.




## CRX-25iA

The CRX-25iA Cobot is part of our extensive line of CRX Collaborative Robots, a great choice for manufacturers with little to no experience in robotics and automation.


As the most powerful cobot in the FANUC CRX lineup, the CRX-25iA is the heaviest lifter of the FANUC CRX series of collaborative robots to date! With a payload of 25-30 kg and a reach of 1756-1889 mm, the CRX-25iA is ideal for tasks that require extra lifting in a collaborative environment, while maintaining the safety and ease of programming that the CRX line is known for.

CRX 25iA is a perfect choice for applications including Palletizing, Material Handling, Machine Tending, Welding, and much more!


The CRX Series of Cobots is 8 Years Zero Maintenance with the proven industrial reliability that FANUC customers expect.




Max Payload  
**25/30 kg**



Reach  
**1889 mm**



Axes  
**6**



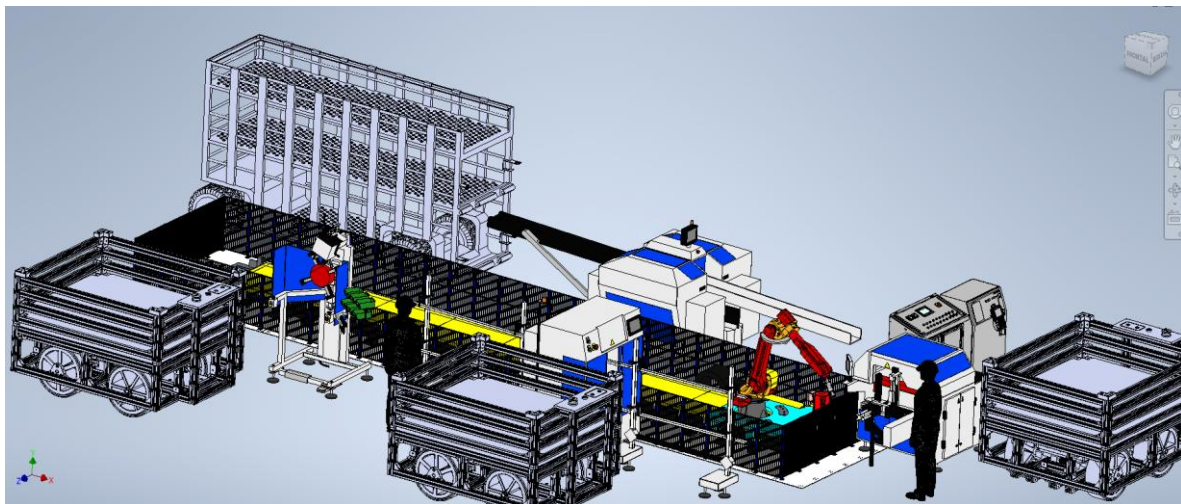
Mechanical Weight  
**135 kg**

Get a Quote

Download Specs

- **Diseño de celda robótica terminada**

Después de tomar, las medidas de mitigación correspondientes, a continuación, se muestra el diseño de la celda robotizada completamente finalizada.



Aquí ya se puede observar la cerca instalada y el nuevo robot.

- **BOM y reevaluación del retorno de la inversión**

Como ya se conocen todas las partes, se hace una investigación de sus precios y se muestra la lista de partes BOM a continuación:

| Pieza                              | Cantidad | Precio por unidad en COP | Total         |
|------------------------------------|----------|--------------------------|---------------|
| Robot CRX-25iA                     | 1        | 200,000,000              | 200,000,000   |
| R30iB mini controller              | 1        | 58,000,000               | 58,000,000    |
| Cerca de 10x2 metros               | 1        | 800,000                  | 800,000       |
| Vehiculo AGV XBOT-AGV600YK         | 6        | 14,000,000               | 84,000,000    |
| Vehiculo AGV Zhejiang Caroon 5T    | 2        | 30,000,000               | 60,000,000    |
| Robot Track ABB IRBT 6004          | 1        | 25,000,000               | 25,000,000    |
| Holland Hub Filling                | 1        | 240,000,000              | 240,000,000   |
| Holland Inline Lacing              | 1        | 200,000,000              | 280,000,000   |
| Holland Robot Quattro              | 1        | 280,000,000              | 280,000,000   |
| Holland Tyre Mounting Console      | 1        | 16,000,000               | 16,000,000    |
| Tablero eléctrico celda            | 1        | 12,000,000               | 12,000,000    |
| Riel de alimentación Robot Quattro | 2        | 800,000                  | 800,000       |
| Herramienta efector final          | 1        | 4,500,000                | 4,500,000     |
| Flete                              | 1        | 40,000,000               | 40,000,000    |
| Impuestos de nacionalización       | 1        | 239,000,000              | 239,000,000   |
| Adecuaciones e instalación         | 1        | 40,000,000               | 40,000,000    |
|                                    |          | <b>Total</b>             | 1,580,100,000 |

Y ese sería el BOM de toda la Celda.

Con el objetivo de recalcular el retorno de inversión ROI, se eliminan las cosas que ya estaban, como se observa:

| Pieza                              | Cantidad | Precio por unidad en COP | Total       |
|------------------------------------|----------|--------------------------|-------------|
| Robot CRX-25iA                     | 1        | 200,000,000              | 200,000,000 |
| R30iB mini controller              | 1        | 58,000,000               | 58,000,000  |
| Cerca de 10x2 metros               | 1        | 800,000                  | 800,000     |
| Vehiculo AGV XBOT-AGV600YK         |          |                          |             |
| Vehiculo AGV Zhejiang Caroon 5T    | 2        | 30,000,000               | 60,000,000  |
| Robot Track ABB IRBT 6004          | 1        | 25,000,000               | 25,000,000  |
| Holland Hub Filling                |          |                          |             |
| Holland Inline Lacing              |          |                          |             |
| Holland Robot Quattro              |          |                          |             |
| Holland Tyre Mounting Console      |          |                          |             |
| Tablero eléctrico celda            |          |                          |             |
| Riel de alimentación Robot Quattro |          |                          |             |
| Herramienta efector final          | 1        | 4,500,000                | 4,500,000   |
| Flete                              | 1        | 40,000,000               | 40,000,000  |
| Impuestos de nacionalización       | 1        | 81.377.000               | 81,377,000  |
| Adecuaciones e instalación         | 1        | 40,000,000               | 40,000,000  |
|                                    |          | <b>Total</b>             | 509,677,000 |

Y se calcula el ROI usando la herramienta web, con este nuevo valor total convertido en dólares, es decir 127.419 dolares, obteniendo el siguiente resultado:

## Total Robotic System Cost Vs. Current Operational Costs

**4 8**  
YEARS MONTHS

Break Even Point

**\$ 449,629**  
US DOLLARS

Labor Savings

**\$ 89,926**  
US DOLLARS

Productivity Savings

Entonces el retorno de la inversión ROI es de 4 años y 8 meses, y ya depende de la junta directiva determinar si vale la pena o no. En nuestra opinión, consideramos que casi 5 años es demasiado largo, y por lo tanto pensamos que no vale la pena.