



VI SIMPOSIO DE DISEÑO E INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA, BIOMECÁNICA Y MECATRÓNICA.

Implementación de células robotizadas en un proceso de conformado de tubos de cobre: Estudio de caso.

Implementation of Robotic Cells in a Copper Tube Forming Process: Case Study

Autores: Dr. João Evangelista Neto¹, Eng. Anderson Silva de Souza²; Dr. Edry Antonio Garcia Cisneros³; Dr. Rafael Barreda³, Dr. Daniel Guzman del Río⁴.

- 1- João Evangelista Neto. Universidad del Estado de Amazonas, Brasil.
Email: jneto@uea.edu.br
- 2- Anderson Silva de Souza. Universidad del Estado de Amazonas, Brasil.
Email: ass.eng17@uea.edu.br
- 3- Edry Antonio Garcia Cisneros. Universidad del Estado de Amazonas, Brasil.
Email: ecisneros@uea.edu.br
- 4- Eduardo Rafael Barreda. Universidad del Estado de Amazonas, Brasil.
Email: ecampo@uea.edu.br
- 5- Daniel Guzman del Río. Universidad del Estado de Amazonas, Brasil.
Email: dguzman210@gmail.com

Resumen:

Con la tecnología en una fase avanzada de los procesos industriales, se presentó una excelente oportunidad para desarrollar un proyecto que abarca todo el trasfondo de la automatización de procesos, desde el nacimiento del proyecto hasta su diseño y entrega final. Este proyecto consiste en la instalación de dos células robotizadas en una célula de producción que fabrica tubos de cobre utilizados en la fabricación de aparatos de aire acondicionado. El tema elegido abordará el reto de automatizar procesos que plantean riesgos ergonómicos y deben mejorarse de conformidad con las normas reglamentarias vigentes para el proyecto en cuestión (NR10, NR12 y NR17). En este trabajo, se evalúa las ventajas e inconvenientes de las implantaciones que se llevarán a cabo, así como las ganancias para la fábrica. La elección de utilizar robots en el sistema se debe a su capacidad para realizar las tareas con precisión y hacer que el proceso de producción sea



más eficiente en términos de calidad y productividad, reduciendo así los residuos y disminuyendo el riesgo de accidentes laborales.

Abstract:

With technology at an advanced stage in industrial processes, there was an excellent opportunity to develop a project that covered the entire background of process automation, from the birth of the project to its design and final delivery. This project involves the installation of two robotic cells in a production cell that manufactures copper tubes used in the production of air conditioners. The topic chosen will address the challenge of automating processes that pose ergonomic risks and need to be improved in accordance with the regulatory standards in force for the project in question (NR10, NR12 and NR17). In this work, it will be possible to evaluate the advantages and disadvantages of the implementations that will be carried out, as well as the gains for the factory after the project has been delivered. The choice of using robots in the system was due to their ability to carry out the tasks with precision and make the production process more efficient in terms of quality and productivity, thereby reducing waste and reducing the risk of accidents at work.

Palabras Clave: Células robotizadas; Tubos de cobre; Aire acondicionado.

Keywords: *Robotic cells; Copper tubes; Air conditioning.*

1. Introducción

La industria de aire acondicionado en Brasil se expandió enormemente a finales de los años 90 con la llegada de productos procedentes principalmente de Corea, Japón y China. Inicialmente se empezaron a comercializar productos fabricados en el extranjero y en la actualidad tienen plantas de fabricación instaladas en Brasil. Este sector ha sufrido muchos cambios a lo largo de los años, exigiendo constantemente innovaciones tecnológicas a sus fábricas para que puedan seguir siendo competitivas frente a estas transformaciones del mercado.

Este estudio analiza las consecuencias de la introducción de células robotizadas en el proceso de producción de tubos de cobre utilizados en aire acondicionados. Además de comparar las ventajas e inconvenientes de los procesos manuales antes de la implantación y los procesos automatizados. Los efectos de la introducción de las células se cuantificarán mediante ahorros financieros y cálculos de amortización para evaluar la viabilidad técnica del proyecto. También se realiza un estudio de la capacidad de producción para evaluar las ganancias de productividad antes y después.

La propuesta de realizar surge de la escasez de estudios que aborden las tecnologías automatizadas y su debido análisis de las ganancias del proceso, donde se podrá



comprobar que este tipo de modernización de procesos puede ayudar a aumentar la productividad. De la necesidad de cuantificar dos escenarios (manual y automatizado) y analizar qué escenario aportará beneficios a la empresa.

El objetivo de este trabajo es conocer los tipos y características de los robots, comprender los pasos de implementación, identificar parámetros e hipótesis para medir los resultados, implementar el proyecto en la planta de producción y analizar los resultados obtenidos. Este trabajo también pretende estudiar la implantación de dos células robotizadas en el proceso de conformado de tubos de cobre en una fábrica de aire acondicionado situada en el Polígono Industrial de Manaos.

Para ello fueron abordados varios métodos científicos, tanto para la actividad de revisión bibliográfica (análisis síntesis, inferencia estadística descriptiva) como también fue utilizada la guía metodológica de PMBok para el proceso de gerenciamiento del proyecto. El principal resultado del trabajo fue justamente la implantación de Células Robóticas en un Proceso de Conformado de Tubos de Cobre y su correspondiente evaluación técnico económica.

2 Metodología

En 2012, los creadores del proyecto, Siegfried Dais (Robert Bosch GmbH) y Kagermann (acatech), presentaron un informe de recomendaciones al Gobierno Federal alemán, como forma de planificar cómo implantar la Industria 4.0. En 2013, tuvo lugar la edición final de esta nueva perspectiva industrial en la Feria de Hannover (SILVEIRA, 2017).

La Tendencia de este nuevo modelo industrial se basa en una forma de describir la tendencia hacia la digitalización y automatización del entorno manufacturero (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

El fundamento básico de la Industria 4.0 es que, mediante la conexión de máquinas, sistemas y activos, las empresas pueden crear redes inteligentes y controlar así los módulos de producción de forma autónoma (SILVEIRA, 2017). El concepto de Industria 4.0 es la combinación de los logros tecnológicos de los últimos años con la visión de un futuro con sistemas de producción inteligentes y automatizados, en el que el mundo real está conectado al virtual (ZAWADZKI; ZYWICKI, 2006).

Los robots industriales son manipuladores reprogramables y multifuncionales diseñados para manipular materiales, piezas, herramientas o dispositivos especializados mediante movimientos variables programados para realizar diversas tareas (SPONG, 1989).

ROMANO (2002) afirma que un robot industrial está formado por los siguientes componentes:

1. **Manipulador mecánico:** se refiere principalmente al aspecto mecánico y estructural del robot. Consiste en una combinación de elementos estructurales rígidos conectados entre sí a través de articulaciones, el primero denominado base y el último componente actuador. Véase la figura 1.

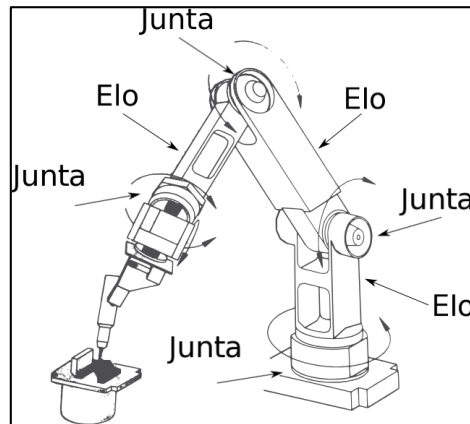


Figura 1: Manipulador robótico. Fuente: Imagen adaptada de PAZOS, Fernando - Systems Automation & Robotics.2022.

2. **Efector:** es el elemento de conexión entre el robot y su entorno. Puede ser una pinza o una herramienta. El objetivo principal de una pinza es coger un determinado objeto, transportarlo hasta una posición preestablecida y, una vez alcanzada dicha posición, soltarlo (Ver la figura 2).

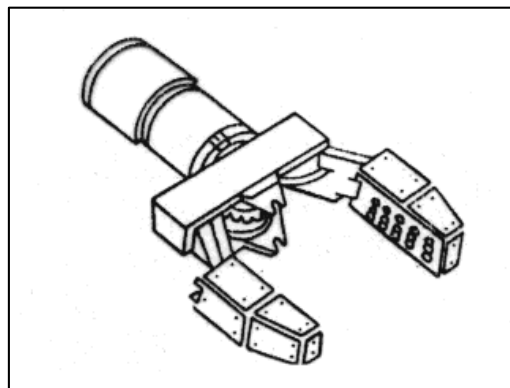


Figura 2: Ejemplo de efector. Fuente: TRONCO, Mário Luiz. Robots industriales.2022

3. **Actuadores:** Son componentes que convierten la energía eléctrica, hidráulica o neumática en energía mecánica. A través de sistemas de transmisión, la potencia mecánica generada por los actuadores se envía a los eslabones para que se muevan. Ejemplos: Motores eléctricos, hidráulicos o neumáticos.



4. Unidad de potencia: Es la encargada de suministrar la potencia necesaria para mover los actuadores. La bomba hidráulica, el compresor y la fuente eléctrica son las unidades de potencia asociadas a los actuadores hidráulicos, neumáticos y electromagnéticos, respectivamente;

5. Sensores: Proporcionan a la unidad de control parámetros sobre el comportamiento del manipulador, generalmente en términos de posición y velocidad de los eslabones en función del tiempo, y sobre la forma en que el robot interactúa con el entorno operativo. Las articulaciones utilizadas para unir los eslabones de un robot suelen estar acopladas a sensores. Ejemplos: Codificadores, tacómetros, láser, cámara, etc.

6. Unidad de control: se encarga de gestionar y supervisar los parámetros de funcionamiento necesarios para llevar a cabo las tareas del robot. Las órdenes de movimiento enviadas a los actuadores se originan en el movimiento y se basan en la información obtenida de los sensores.

Los brazos manipuladores de las cadenas de montaje realizan movimientos estandarizados que suelen ser sencillos y repetitivos. Hoy en día, los sistemas automatizados se utilizan ampliamente en la industria, y en sectores como la exploración medioambiental y la investigación científica, en la medicina a través de prótesis y equipos quirúrgicos, en el ejército y en la seguridad, donde los humanos son sustituidos por manipuladores robóticos en situaciones peligrosas (ROSARIO, 2012).

Un manipulador mecánico está formado por una combinación de elementos estructurales rígidos llamados eslabones, que se conectan entre sí a través de articulaciones, también conocidas como uniones. El primer eslabón se denomina base y el último terminal, al que se le puede acoplar el componente efector, que puede ser una pinza o una herramienta. El número de grados de libertad del robot se refiere al número de variables independientes representadas normalmente por las articulaciones, que definen las posiciones del movimiento del equipo, como se muestra en la figura siguiente (RIVIN; BORODIN, 1988).

El movimiento de cada articulación puede ser de desplazamiento, rotación o una combinación de ambos, y cada uno de los movimientos independientes que realiza una articulación en relación con la otra se denomina grado de libertad (GDL), lo que permite formar seis tipos diferentes de articulaciones (BARRIENTOS ET AL., 1997, p.16).

Los GDL de un robot están dados por la suma de los GDLS de las articulaciones que lo componen. Según Barrientos et al. (1997, p.17), para colocar un cuerpo en cualquier posición en el espacio, se necesitan seis parámetros, tres para definir la posición y tres para la orientación, por lo que un robot debe tener al menos seis GDL para poder acceder a cualquier lugar dentro de su espacio de trabajo, aunque la mayoría de los robots industriales trabajan sólo con cuatro o cinco, como se indica a continuación.

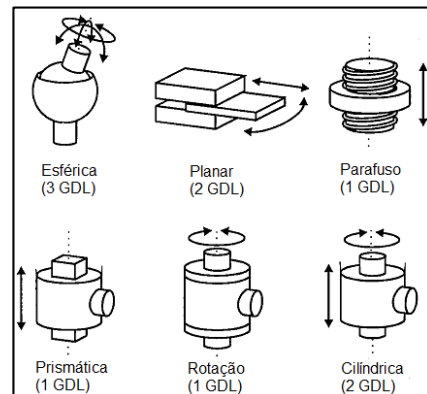


Figura 3 - Diferentes tipos de articulaciones para robots. Fuente: Barrientos et al. (1997, p.17).

Para el desarrollo de este trabajo se ha optado por utilizar el manipulador KR10 R1420 del fabricante KUKA. Se eligió este modelo por tratarse de un tipo articulado muy utilizado en la industria. Véase la figura 4.

Los manipuladores articulados tienen una configuración similar a la de un brazo humano, debido a su conjunto de 6 articulaciones rotacionales, que se pueden separar en dos grupos, las que conforman la muñeca y las que corresponden al movimiento del brazo.



Figura 4: Robot KR10 R1420 del fabricante KUKA. Fuente: Sitio web del fabricante KUKA (2020). Este modelo de configuración es el más versátil de los manipuladores, ya que garantiza un mayor movimiento en un espacio compacto. Véase la figura 5.

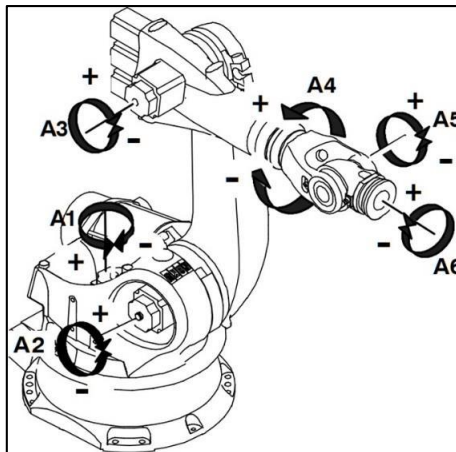


Figura 5: Representación simplificada del manipulador articulado 6 GDL. Fuente: manual KUKA "KR 5 sixx R650, R850 Specification (2020)

Las articulaciones 1, 2 y 3 (A1, A2 y A3) de la figura anterior (Figura 7) son responsables de la posición final del efector situado en el extremo del manipulador, y son estas articulaciones las que simulan el comportamiento del brazo y el antebrazo humanos. Las otras articulaciones, es decir, las articulaciones 4, 5 y 6 (A4, A5 y A6), son responsables de guiar el efector. Esto significa que estas tres últimas articulaciones emulan el comportamiento de una muñeca humana.

Dado que el proyecto se llevará a cabo en una fábrica de aire acondicionado en el proceso de fabricación de tuberías de cobre, es necesario discutir brevemente el uso de tuberías y sus procesos de producción.

Los procesos de fabricación de los tubos de cobre van desde el corte de las bobinas de cobre hasta la soldadura fuerte de los conjuntos para llevarlos a las líneas de montaje de aire acondicionado. Cabe señalar que, dependiendo de la finalidad de este tubo en la línea de montaje final, el artículo puede recibir distintas combinaciones de procesos para adoptar su geometría final. A continuación, figura una lista en la que se describe cada uno de los procesos de producción utilizados para fabricar tubos de cobre.

El proceso de conformado de tubos se lleva a cabo en tubos con el fin de expandir o reducir el tubo de cobre utilizando herramientas mecánicas de conformado, como punzones y matrices. Cabe señalar que la actividad del operario en este proceso se limita a introducir el tubo en la máquina y retirarlo tras el conformado.

El proceso llevado a cabo por el operario (paso a paso) consta de las siguientes etapas:

- a) Recoger el tubo cortado de la caja de marfil (Paso 1);
- b) Introducir el tubo en la máquina formadora (Paso 2);

- c) Accionar el botón de dos manos para iniciar el proceso de formación (Paso 3);
- d) Retirar el tubo formado y guardarlo en la caja de marfil;

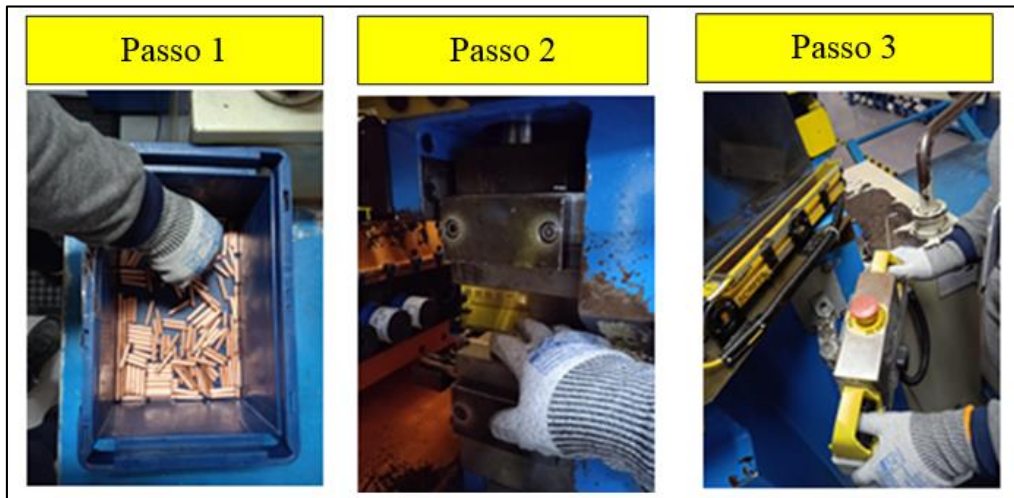


Figura 6: Pasos del proceso de fabricación de tubos de cobre. Fuente: Autor:2023

En el proceso descrito anteriormente, el operario labora en dos máquinas simultáneamente. Mientras la máquina 1 lleva a cabo el proceso de conformado, el operario retira el tubo procesado y llena la máquina 2 para continuar el proceso. Cuando la máquina 2 está en marcha, los pasos de retirar el tubo procesado y llenar otro se repiten en la máquina 1. Hasta el punto de que la tarea del operario se centra en permitir que la máquina esté siempre en producción. En la figura 7, se muestra la configuración del operario en relación con las dos máquinas de conformado mecánico de tubos de cobre:



Figura 7: Configuración operador-máquina Fuente: Autores. 2023

El calendario del proyecto se planificó teniendo en cuenta todo el tiempo necesario para diseñar el proyecto, comprar los materiales eléctricos y mecánicos, realizar pruebas con los robots e implantar las dos células robotizadas en el proceso de conformado de tubos.

La estructura analítica seguida en el proyecto (figura 8) muestra la secuencia metodológica seguida.

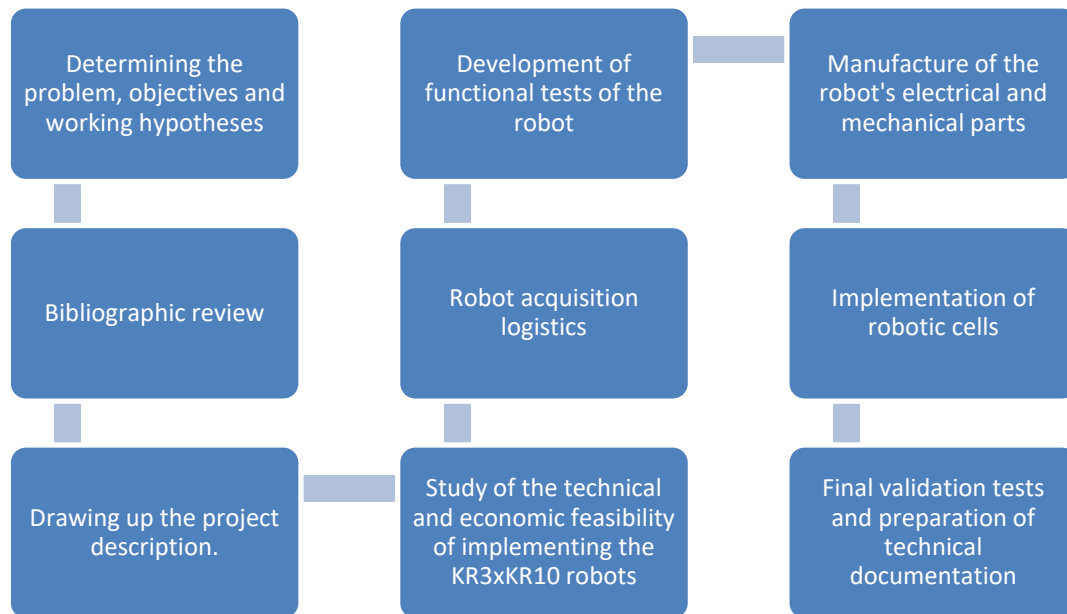


Figure 8. Estructura Analítica de la investigación. Fuente: Autores. 2023

3. Resultados y discusión

Principales premisas para la ejecución del Proyecto

1. La célula puede realizar procesos manuales y automáticos: en el proceso manual, el robot deberá permanecer en posición neutral, lo que permitirá al operario realizar las actividades del proceso si hay problemas de mantenimiento en la célula. En el proceso automático, el robot deberá alimentar tubos de cobre en 2 máquinas de conformado y retirar y separar las piezas conformadas en cajas.

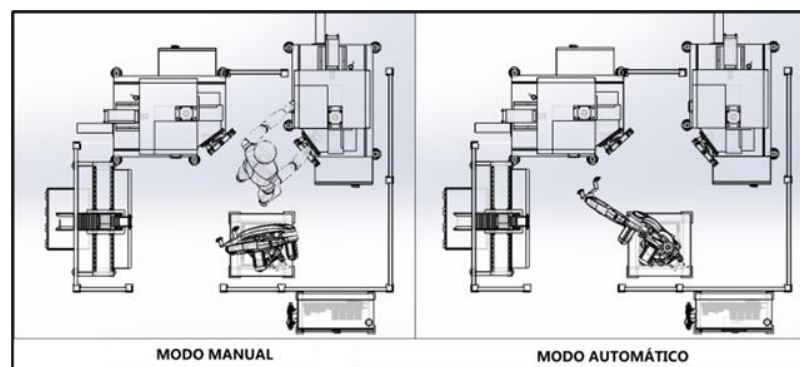


Figura 9: Modos de funcionamiento de la célula robotizada. Fuente: Autores.2023

2. La célula no permitirá fabricar dos modelos al mismo tiempo. Esta restricción se debe a las limitaciones de la máquina.
3. La célula podrá producir modelos de longitudes comprendidas entre 150 mm y 1.000 mm para tubos de 5/16", 3/8", 1/2", 5/8" y 7/8". Por lo tanto, según el número total de

modelos, la célula robotizada tendrá una tasa de absorción del 65%. Cabe señalar que el 35% restante del número total de artículos deberá producirse en las otras 4 máquinas de conformado.

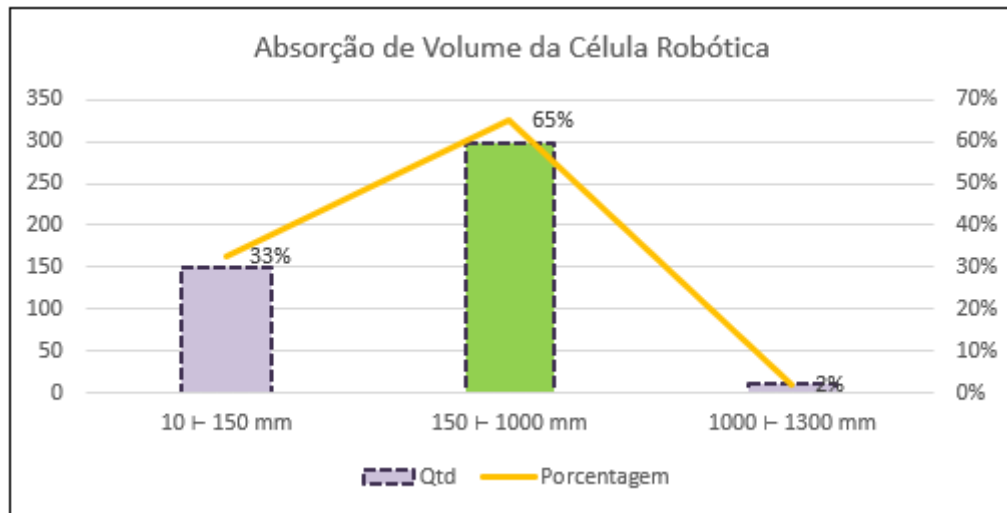


Figura 10: Gráfico de absorción del volumen de producción. Fuente: Autores.2023

4. La célula robotizada no eliminará el proceso de cambio de utillaje. En caso de cambio de modelo, el operario tendrá que configurar manualmente los punzones y las mordazas en la máquina de conformado.

De acuerdo con los supuestos descritos anteriormente, la célula robotizada también deberá ocupar la dimensión máxima de 2800 x 3500 mm, tal y como se muestra en el siguiente esquema:

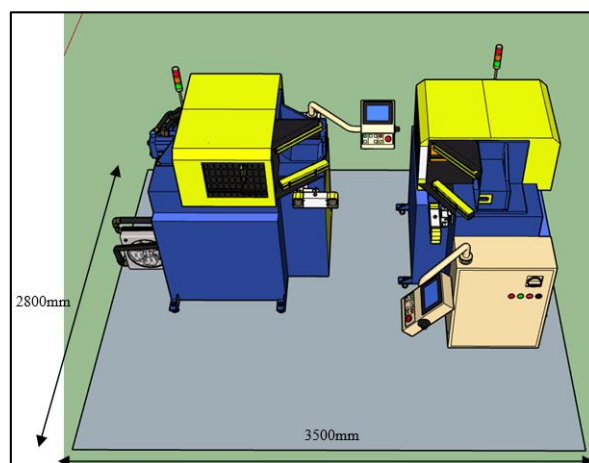


Figura 11: Dimensiones disponibles para la célula robótica. Fuente: Autores.2023

Además, el robot debe respetar la restricción de la zona en la que puede entrar en la máquina para llenar el tubo de cobre (0,16 m²):

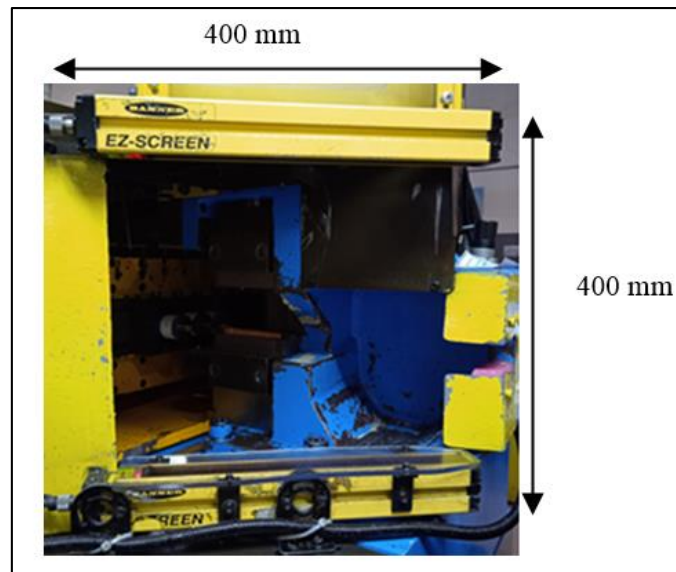


Figura 12: Dimensión de entrada de la máquina. Fuente: Autores.2023

Selección del modelo de robot

El robot adoptado para este proyecto fue el KR 10 R1420 del fabricante KUKA. Se eligió este modelo por la amplitud de movimiento máxima del robot (1420 mm) para realizar todos los movimientos de alimentación de tubos en dos máquinas y retirada de materiales.

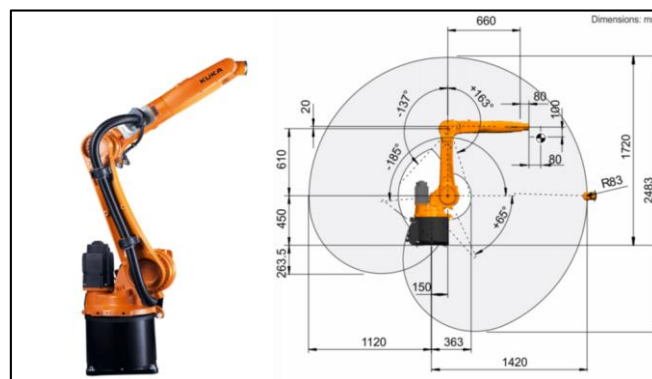


Figura 13: Gráfico del espacio de trabajo - robot KR 10 R1420. Fuente: Sitio web del fabricante KUKA2020
 Este rango operativo permite al robot moverse en un espacio compacto y llevar a cabo las actividades del proceso de conformado de tubos dentro de las dimensiones del robot.

Garras robóticas

El efector que utilizarán los robots serán pinzas de PU (poliuretano) acopladas a pistones accionados neumáticamente para manipular los tubos de cobre durante el proceso. Este dispositivo deberá tener dos garras acopladas al robot para aumentar su capacidad de manipulación y reducir el número de movimientos realizados por los robots antropomórficos.

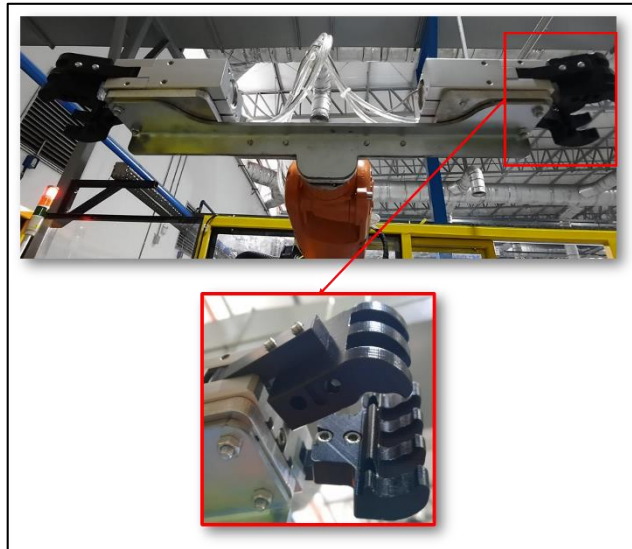


Figura 14: Garra robótica. Fuente: Autores.2023

Como el proceso de conformado involucra tubos de diferentes longitudes y diámetros, será necesario utilizar diferentes tipos de pinzas para cada caso. La premisa principal será utilizar juegos de mordazas con mayor área de contacto para tubos con diámetros de 5/8" y 7/8", y mordazas con menor área de contacto para tubos con diámetros de 1/2", 3/8" y 5/16".

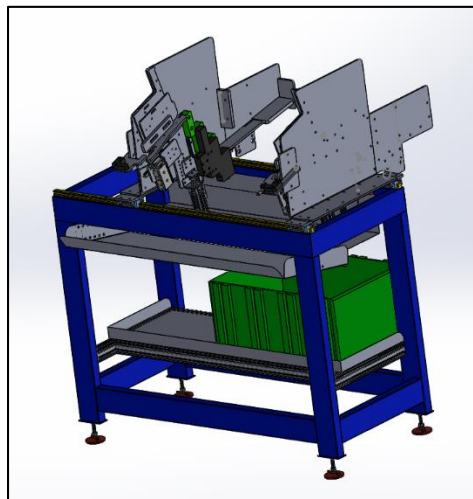


Figura 15: Dispensador robótico de células. Fuente: Autores.2023

El dispensador dispone de diferentes tipos de ajustes para adaptarse a diferentes longitudes y calibres de tubo. Los principales ajustes son: ajuste de la abertura horizontal; ajuste de la altura del limitador vertical; ajuste de la abertura horizontal para la salida del tubo; ajuste de la posición del actuador del extractor de tubos y extracción/colocación de las piezas de policarbonato con imanes;

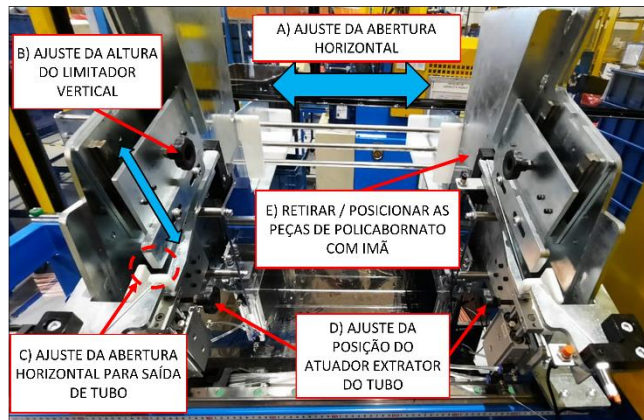


Figura 16 Ajustes del dispensador robótico. Fuente: Autores.2023

Definición del diseño de Planta

A partir de la elección del modelo de robot a implantar en el proceso, se montó la propuesta de layout de las celdas en las que el robot debería estar disponible de forma que realizase las actividades de llenado y vaciado de tubos de las máquinas con un flujo de entrada y salida bien definido como en la imagen inferior:

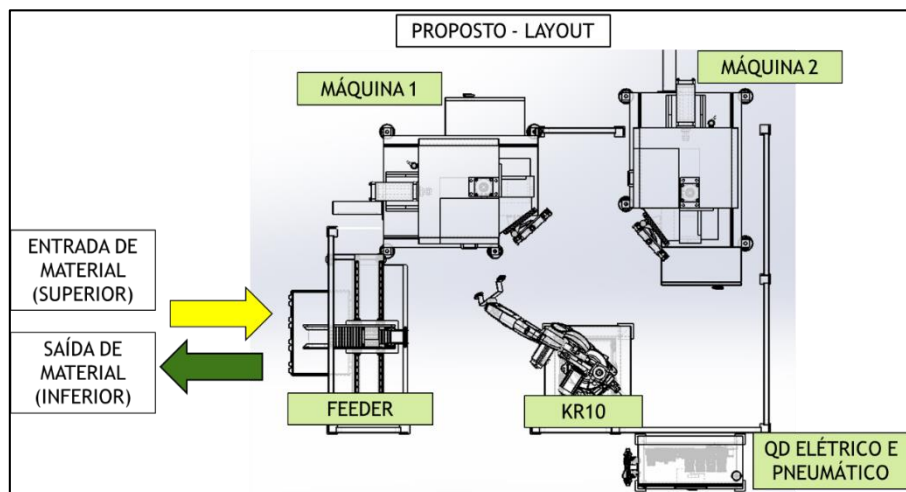


Figura 17: Esquema propuesto para el proceso de conformado de tubos de cobre. Fuente: Autores.2023

Célula robotizada y Norma Reguladora de seguridad del trabajo 12(NR 12)

La disposición se definió siguiendo los criterios de la norma reglamentaria NR12 (Seguridad en máquinas y equipos) para garantizar la seguridad de todos los operadores de máquinas que trabajan cerca de la zona de la célula y mejorar las condiciones de trabajo. A continuación, se muestra una propuesta de disposición según la norma NR12

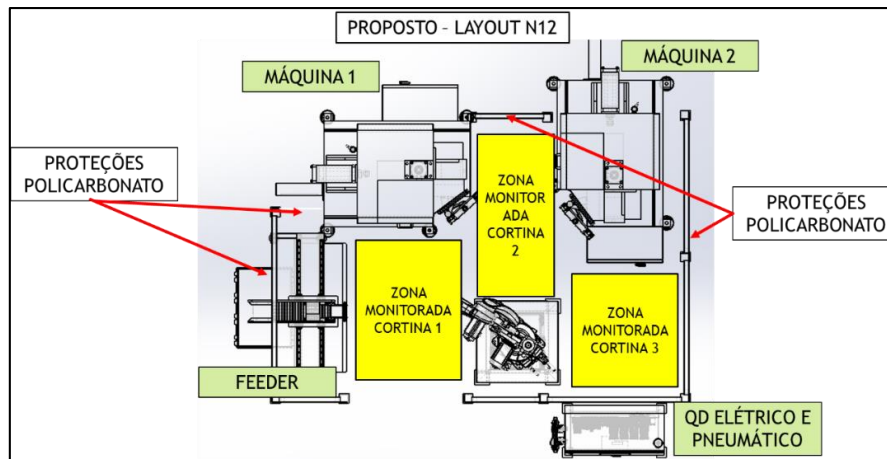


Figura 18: Trazado propuesto siguiendo la NR12 Fuente: Autores.2023.

Como requisitos de seguridad, la célula debe cumplir las siguientes premisas relativas a las protecciones físicas: Insertar protecciones físicas, supervisadas por una interfaz de seguridad (PLC de seguridad CAT IV), para todas las protecciones físicas fijas y móviles que supongan un riesgo de acceso a engranajes/presiones, aplastamiento; insertar cerramientos con rejillas de protección. Nota: La altura máxima del robot debe ser informada al departamento de Medio Ambiente y Seguridad, para que pueda definir la altura de seguridad del recinto; Todos los medios de acceso deben estar interconectados a una micro-llave magnética; insertar un escáner óptico, para supervisar todas las zonas muertas dentro de las protecciones físicas, no se aceptará ninguna zona no supervisada y la zona de entrada y salida de la célula debe tener una cortina de luz, supervisada por una interfaz de seguridad, para evitar el acceso a la zona de riesgo.

Además de la protección física, deben instalarse dispositivos de parada de emergencia (pulsadores) y este periférico debe controlarse a través de una interfaz de seguridad: tanto en el panel de control como en el interior de la barandilla, cerca de la zona de mantenimiento; también deben instalarse placas de identificación de acuerdo con el punto: 12. 123 de la NR12: Año de fabricación; Razón social (CNPJ); Datos técnicos de la máquina (informaciones sobre tipo, modelo, capacidad, número de serie, identificación y peso de la máquina y responsable técnico (CREA); Cuadro eléctrico debe ser blindado, conteniendo: Instalación de seccionador con punto de etiquetado de bloqueo; puerta con candado; llave de bloqueo para evitar el acceso de personas no autorizadas a partes energizadas; botón de emergencia, monitoreado por relé de seguridad; conexión a tierra en la puerta del tablero; señalización de seguridad e identificación de tensión, riesgo de choque eléctrico y personas autorizadas solamente, en la puerta del tablero; debe

instalarse en un lugar de fácil acceso para el mantenimiento; instalar un relé de inversión de fase; las barras colectoras y similares deben estar protegidas por una protección física de policarbonato; un esquema eléctrico; un informe de puesta a tierra con la emisión de una Anotación de responsabilidad Técnica (ART); insertar dos contadores de seguridad interconectados en serie y el panel de control debe tener un botón azul de reinicio.

Además, el proyecto debe cumplir con los siguientes requisitos: el proyecto debe ser elaborado por un profesional cualificado; proporcionar una ART - Certificado de Responsabilidad Técnica de fabricación; proporcionar Certificados de Periféricos de Seguridad; proporcionar un Manual de Operación y Mantenimiento; un dibujo de cada equipo y periféricos; proporcionar un Proyecto y Diagrama Eléctrico para equipos NR10); proporcionar un Informe de Puesta a Tierra con una ART emitida y también proporcionar un informe de conformidad NR12.

Siguiendo las premisas descritas anteriormente, se adoptó un esquema con dispositivos de seguridad asociados a las protecciones con el objetivo de reducir el riesgo de accidentes mediante la monitorización del interior de la celda con sensores y dispositivos eléctricos:

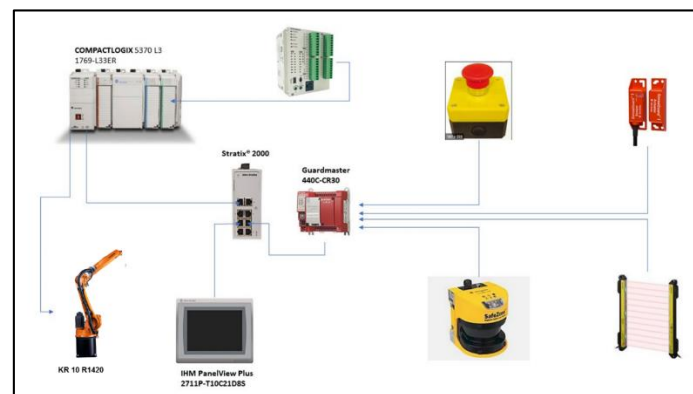


Figura 19: Dispositivos de seguridad. Fuente: Autores.2023.

Con el esquema mostrado, la célula robotizada debe disponer de elementos de seguridad como: un pulsador de emergencia, una cortina de luz, sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento. Todos estos dispositivos, al activarse, enviarán señales al PLC, interrumpiendo cualquier movimiento realizado por el robot o la formadora.

Movimientos robóticos

Los movimientos del robot durante el proceso de conformado se basan en la posición neutra del robot (posición de inicio/cero). A partir de esta posición, se crearán todas las recetas para diferentes longitudes de tubo.

3. Resultados y discusión

El proceso de implementación de las células tendrá las siguientes etapas:

Etap 1. Los movimientos del robot durante el proceso de conformado se basan en la posición neutra del robot (posición inicial/cero). A partir de esta posición, se crearán todas las recetas para las diferentes longitudes de tubo.

Etap 2 . El proceso de implementación de las células tendrá las siguientes etapas:

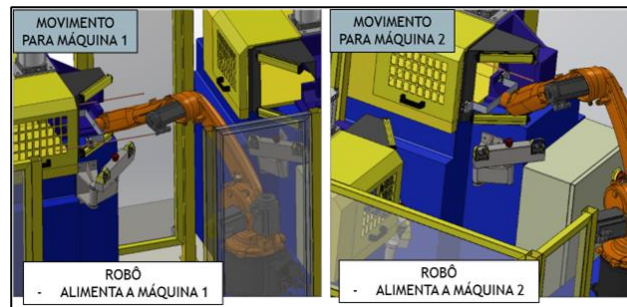


Figura 20: Tuberías de suministro a las máquinas Fuente: Autores.2023.

Etap 3 Realimentación de la pinza: Con las máquinas realizando el proceso de conformado, el robot se desplaza hacia el distribuidor para alimentar la pinza 1.

Etap 4 Retirada de la pieza y realimentación de la máquina 1: El robot debe retirar la pieza de la máquina 1 y alimentar la máquina 1 con la pinza 1.

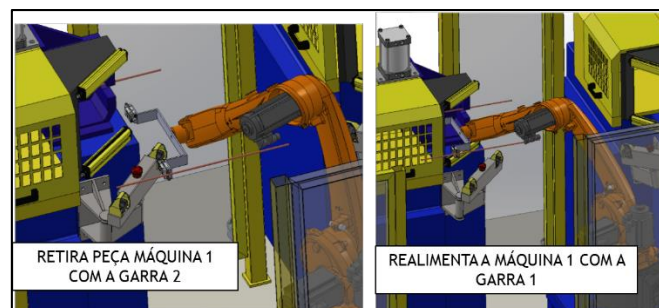


Figura 21: Desmontaje y repostaje de la Máquina 1. Fuente: Autores.2023.

Etap 5 Devolución del producto y reabastecimiento de la pinza 2: El robot debe entregar el tubo procesado a la rampa y luego reabastecer la segunda pinza.

Etap 6 Retirada de la pieza de la máquina 2: El robot realiza el movimiento hacia la máquina 2 y retira la pieza procesada con la pinza 1 y reabastece la máquina con la pinza 2.

Etap 7 Retorno del producto acabado y realimentación de la pinza 2: El robot se desplaza hacia el distribuidor para entregar la pieza procesada de la pinza 1 a la rampa. Tras devolverla, el robot entonces la alimenta con la pinza 2

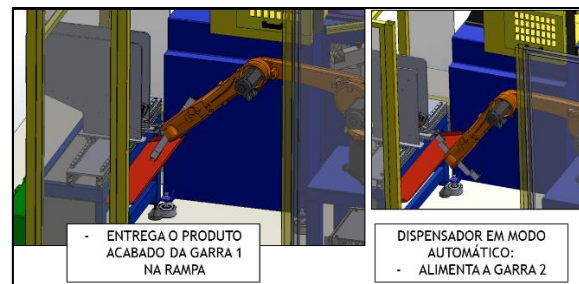


Figura 22: Devolución del producto acabado y respuesta de la pinza 2. Fuente: Autores.2023

Etap 8 Retirada de la pieza de la máquina 1: el robot se desplaza hacia la máquina 1, retira la pieza transformada con la pinza 1 y la devuelve a la máquina 1 con la pinza 2. El robot repite los pasos a partir de la etapa 7.

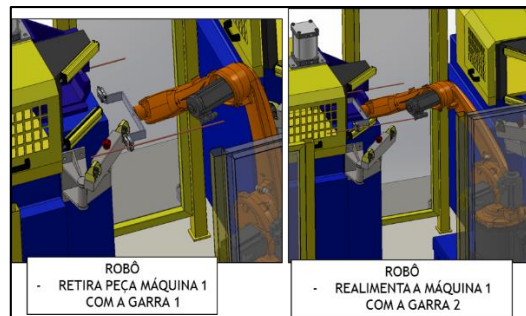


Figura 23. Extracción de una pieza de la máquina 1 y rellenado. Fuente: Autores.2023

Etap 9 Retirar la pieza de la máquina 2: el robot se desplaza hacia la máquina 2, retira la pieza con la pinza 1 y la devuelve a la máquina 2 con la pinza 2. A continuación, la célula robotizada recorre las etapas 7, 8 y 9 hasta haber procesado la cantidad total de tubos según las órdenes de fabricación. Una vez terminada la cantidad total de piezas, la célula robotizada vuelve a la posición neutral.

Cronograma de la Implementación de la Célula robotica

El cronograma del proyecto fue planificado considerando todo el tiempo necesario para diseñar el proyecto, comprar los materiales eléctricos y mecánicos, realizar las pruebas en los robots e implementar las dos células robóticas en el proceso de conformación de las tuberías.



IV Convención Científica Internacional UCLV 2023
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
VI Simposio de Diseño e Ingeniería Asistida por Computadora, Biomecánica y Mecatrónica.

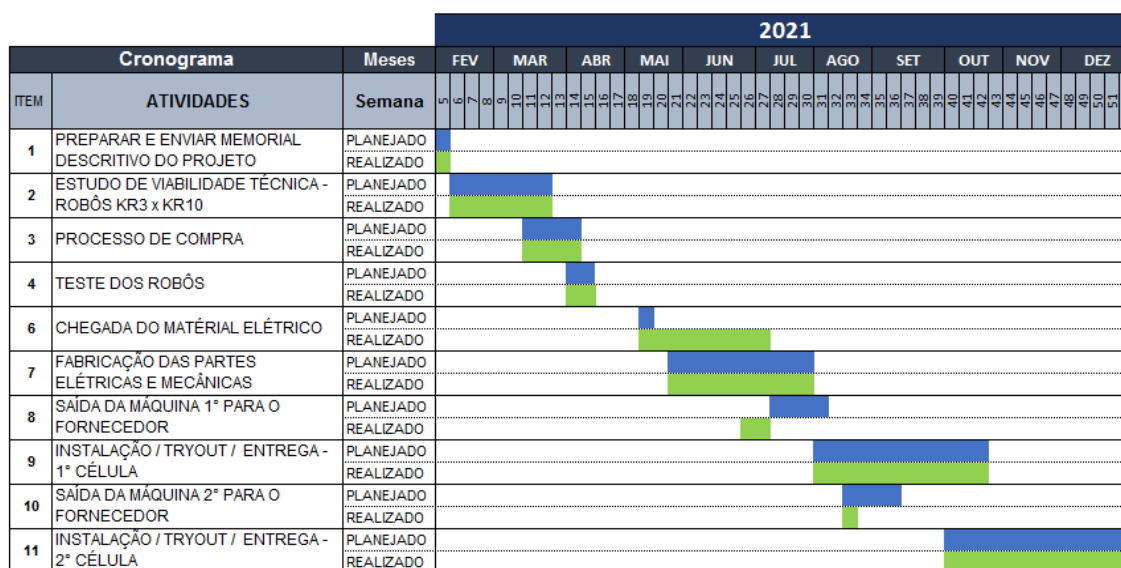


Figura 24 cronograma de implementación del proyecto

Los resultados económicos del proyecto pueden ser calculados de acuerdo con los "Savings Financial" (Economía por medio de la reducción de los costos de producción). El costo total de la implementación de las dos células robóticas fue definido por el abastecedor responsable por la ejecución del proyecto y aparece resumido en la tabla 1.

Tabla 1 Costos del proyecto

Costo planificado para la implementación	USD (\$)
Costo de las células roboticas	81.464
Costo para la automatización de hardware	19.018
Costo para la personalización del software	6.071
Piezas de reposición	9.000
Instalación de las células y las herramientas	10.161
Costo total del proyecto	125.714

Conclusiones

- Se describieron paso a paso el proceso de implantación de dos células robotizadas encargadas de sustituir a los humanos en la realización de actividades en el proceso de conformado de tubos de cobre.
- Se realizó un estudio de caso sobre las características del proceso de conformado y los principales supuestos del proyecto y su relación con los dispositivos de seguridad de acuerdo con la Norma Reglamentaria 12.



- La implantación de los robots se llevó a cabo con éxito, según lo previsto en el cronograma de ejecución del proyecto.
- Los resultados alcanzados después implementación de las células robóticas están directamente asociados con las reducciones de la cantidad de operarios necesarios para la conformación mecánica de las tubos de cobre.

5. Referencias bibliográficas

MARSON, M. D. A industrialização brasileira antes de 1930: uma contribuição sobre a evolução da indústria de máquinas e equipamentos no estado de São Paulo, 1900-1920. SciELO, São Paulo, out/dez. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-41612015000400753>. Acesso: 01 maio 2022.

BOETTCHER, M. Revolução Industrial - Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0. LinkedIn. 26 nov. 2015. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-de-hist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher>>. Acesso em: 01 maio 2022.

SILVA, D. B. da. et al. O Reflexo da Terceira Revolução Industrial na Sociedade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2012, Curitiba. ABEPRO, 2012. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr82_0267.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2022.

SILVEIRA, C. B. Indústria 4.0 e como vai impactar o mundo. Citisystems. 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso : 27 mar. 2022.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. Computers in Industry. 2016.

ZAWADZKI, P.; ŻYWICKI, K. Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept. Management and Production Engineering Review. 2016.

SPONG, Mark W. VIDYASAGAR, Mathukumali. Robot Dynamics and Control. New York: JOHN WILEY & SONS, 1989.

ROMANO, Vitor Ferreira. Rede de automação da manufatura. 1 ed. São Paulo: EDGAR BLUCHER Ltda, 2002.

ROSARIO, João; Os princípios da mecatrônica. São Paulo- SP: Prentice Hall, 2012.

RIVIN, E. Mechanical Design of Robots. New York: McGraw-Hill Inc, 1988.

BORODIN, N. Machine Design. Moscow: MIR Publishers, 1988.

PAZOS, Fernando. Automação de Sistemas e Robótica. Disponível em: <<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxmZXJuYW5kb2FwYXpvc3xneDphM2NhZjM5ZTc2ZTg0Y2U>>. Acesso em: 23 de mar. 2022.

RIASCOS, Luís. Fundamentos de Robótica: manipuladores e robôs móveis. Ed. Pleiade, São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://graduacao.ufabc.edu.br/eiar/conteudo/ensino/disciplinas/Robotica/FundamentosRobotica.html#:~:text=Rob%C3%B4s%20podem%20ser%20classificados%20utilizando,do%20espa%C3%A7o%20de%20trabalho%2C%20etc>>. Acesso em: 01 maio 2022.

KUKA. Robô Articulado KR10 R1420. Disponível em: <https://www.kuka.com/-/media/kuka-ownloads/imported/6b77eecacf542d3b736af377562ecaa/0000255784_pt>.

SUPLINO, Lucas. Aplicação de Redes Neurais Artificiais com Topologia Definida por



Algoritmos Genéticos para Resolução da Cinemática Inversa de um Manipulador Robótico com 6Graus de Liberdade. UFRJ. Rio de Janeiro, 2018.

BARRIENTOS, Antonio et al. Fundamentos de Robótica. 1. ed. Madrid: Concepción FernándezMadrid, 1997. 327 p.

TRONCO, Mário Luiz. Robôs Industriais – conceitos, classificação, aplicação e programação. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2092683/mod_resource/content/1/Aula_2_Rob%C3%B3tica_2016.pdf>. Acesso em: 30/04/22.