

## Desarrollo y simulación de un algoritmo de ensamble de piezas para un brazo robot industrial

### Development and simulation of an algorithm of assemble of parts for an industrial robot arm

Mateo Donzino

Facultad Regional Rafaela – Universidad Tecnológica Nacional

[mateodonzino@hotmail.com](mailto:mateodonzino@hotmail.com)

#### Resumen:

El inicio de la era de la robótica industrial data de mediados del siglo XX, pero es en este último tiempo que se transformaron en tecnologías de gran valor para la realización de tareas automáticas en los procesos productivos. Particularmente, dentro de la gran variedad de robots industriales, existen los brazos robots que sirven para realizar tareas de mucha precisión como lo es el ensamblaje de piezas.

En este trabajo se utilizará un brazo robot ABB IRB 120 (UTN-FRRa) en una estación de trabajo donde existen 3 tipos de piezas diferentes que, al combinarlas, conforman un producto final. Las piezas se encuentran localizadas en depósitos de almacenamientos de diferentes tipos y en función del pedido, el robot realiza movimientos programados para ensamblar el producto requerido. Se presentan como resultados el diagrama lógico del algoritmo desarrollado para formar los productos y un estudio de tiempo individual para estimar la producción.

**Palabras Claves:** Robótica industrial, Ensamblaje, Programación.

#### Abstract

The beginning of the era of industrial robotics dates from the mid-twentieth century, but it is in this last time that they have become technologies of great value for the performance of automatic tasks in production processes. Particularly, within the wide variety of industrial robots, there are robot arms that serve to perform tasks of great precision such as the assembly of parts.

A robot arm ABB IRB 120 (UTN-FRRa) will be used in this work in a workstation where there are 3 different types of pieces that produce a final product. The pieces are located in storage tanks of different types and depending on the order requested by the customer, the robot performs the programmed movements to assemble the required product. The logic diagram of the algorithm developed to form the pieces and an individual time study to estimate production are presented as results.

**Keywords:** Industrial robotics, assembly, programming.

### 1. Introducción

Desde la incorporación del primer robot industrial instalado en 1961 por Unimate Corp hasta la actualidad, los robots han evolucionado notablemente. Han pasado de realizar simples tareas de manipulación de objetos a estar presentes en la mayoría de las áreas productivas. (International Federation of Robotics). Hoy en día existen diferentes tipos de robots industriales que pueden clasificarse según su configuración mecánica. Los robots articulados se caracterizan por su parecido a un brazo humano, pueden programarse para desplazar su brazo a través de una secuencia de movimientos con el fin de realizar alguna tarea de utilidad. Repetirá estos movimientos una y otra vez hasta que se reprogramme para ejecutar otra tarea diferente. Para que el robot sea útil en una aplicación particular debe ser equipado en su extremo con herramientas o “grippers”. Las herramientas se utilizan cuando el robot debe realizar una operación de procesamiento e incluyen las pistolas de soldaduras, boquillas, sopletes para pintura, etc. mientras que los grippers proporcionan la capacidad de agarre del objeto (Juan Ruiz Quebrado, 2007). Algunas de las actividades que puede realizar un robot industrial son: paletizado y transporte, embalado, pintura, soldadura, sellado y encolado, mecanizado, inspección y medición, entre otras. Las razones por las que las industrias deciden incorporar robots son para aumentar la eficiencia de producción y mejorar la seguridad de las personas en trabajos insalubres o repetitivos (International Federation of Robotics).

En la literatura, existen muchas aplicaciones industriales utilizando robótica. En (Abubakar et al., 2022) se presenta el diseño y desarrollo de un sistema automático para cargar líquidos en botellas. El sistema consiste en un brazo robótico de un grado de libertad (solo puede rotar sobre un eje fijo), el cual toma el recipiente en un punto determinado, para llevarlo a la zona de llenado, donde se vierte el líquido. La cantidad de líquido es controlada por el tiempo que permanece la bomba encendida. Pasado el tiempo, el brazo mueve la botella llena al punto de extracción donde el operario recoge la misma. Todo el sistema es controlado por una placa arduino. Sughashini et al., 2021, proponen un sistema de selección de objetos con un brazo robótico neumático y un sensor de color. Los objetos a separar circulan por una cinta transportadora, cuando un sensor detecta el color sintonizado, la cinta se detiene y el brazo robótico recoge el objeto y lo lleva a otra cinta transportadora. El sistema es controlado por PLC. Dezaki et al., 2022, presenta un sistema automático compuesto por dos cintas transportadoras capaces de separar objetos circulares según su color. Los objetos circulares se encuentran depositados en un tanque de almacenamiento, donde por medio de un cilindro neumático son alimentados a la primera cinta transportadora. Cuando una pieza es retirada por el brazo robot, se activa el cilindro, depositando otra pieza. Cada objeto es situado en la posición exacta para ser tomado por el brazo robótico y posteriormente es transportado a la segunda cinta. Aquí un sensor de color lo identifica y lo deriva al carril preestablecido para cada color.

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un algoritmo que simule una operación de ensamblaje. Para ello se hizo uso del brazo robot ABB IRB 120 con el que cuenta el laboratorio de la Universidad Tecnológica de Rafaela, cuyas especificaciones se presentan en los apartados siguientes.

## 2. Desarrollo

### 2.1 Área de trabajo y sus elementos:

El área de trabajo está constituida por una rígida mesa en la cual se encuentra montado el robot y los elementos de soporte para poder desarrollar el proceso de ensamblaje.

El robot realiza los movimientos mediante coordenadas programadas, por lo que las piezas a manipular se deben encontrar siempre en una posición exacta. Para ello se diseñaron y elaboraron los elementos de soporte, los cuales son: tres bases para pieza, una base para ensamblar y una caja de producto terminado. Los mismos se encuentran sujetos mediante pernos a las perforaciones de la mesa evitando cualquier tipo de movimiento de las piezas, lo que permite efectuar una carga y descarga de las mismas con precisión. Se diseñaron dos modelos diferentes de bases para piezas con la finalidad de que el robot tenga que ejecutar diferentes movimientos para tomar las piezas.

### 2.1.1 Especificaciones del brazo robot

El brazo robótico utilizado en este trabajo pertenece a la empresa ABB Robotics & Discrete Automation, cuyo modelo es el IRB 120 (ABB). Pesa 25 kg y cuenta con 6 ejes de movimiento, como se puede apreciar en la figura 1, y puede manipular una carga de 3kg (4kg en posición vertical de la muñeca) con un alcance de 580mm. Está equipado con un sistema operativo IRC5 Compact y el software de control de robots RobotWare. Se utiliza principalmente para el manejo de materiales de pequeño tamaño.

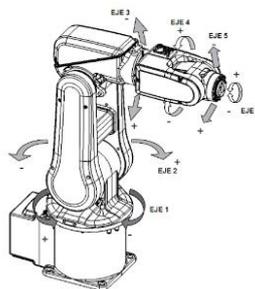


Figura 1. Grados de libertad del robot IRB 120.

### 2.1.2 Elementos de soporte

Los elementos fueron proyectados teniendo en cuenta los agujeros existentes en la mesa de trabajo. Para sus diseños se hizo uso del software “SolidWorks” y posteriormente fueron conformados en acero y con impresión 3D. A continuación, se describe cada uno.

#### 2.1.2.1 Caja producto terminado

Consiste en un recipiente cuadrado de 41mm de lado donde se alojarán las piezas a ensamblar constituyendo el producto, (Figura 2 (a)). Además, cuenta con aletas en la parte superior que facilitan su manipulación.

#### 2.1.2.2 Base para ensamblar

Presenta una cavidad de 15 mm de profundidad que permite albergar a la caja de producto terminado en una posición invariable. Dos aletas laterales permiten fijarla a la mesa de trabajo. En la Figura 2 (b) se aprecia la misma.

### 2.1.2.3 Base para piezas

Son los depósitos de almacenamiento de las piezas y se elaboraron dos modelos diferentes. Por un lado, una base de acero que consiste en una columna de diámetro inferior al del interior de las piezas (Figura 2 (c)), lo que permite alojarlas por apilamiento. El otro modelo consiste en una base y un soporte con un tubo que en su interior se depositan las piezas (Figura 2 (d)). De esta forma cuando se retira la pieza apoyada en la base, la inmediata superior desciende, quedando disponible para su empleo. Ambos modelos cuentan con aletas laterales que permiten la fijación a la mesa de trabajo.

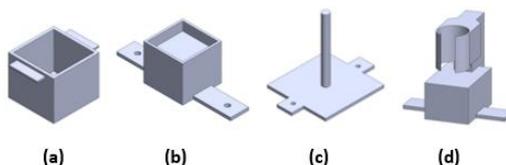


Figura 2. Elementos de soporte: (a) Caja de producto terminado (b) Base para ensamblar (c) Base para piezas tipo columna (d) base para piezas tipo dosificación.

## 2.2 Proceso

El proceso de ensamblado fue diseñado para que quede en evidencia la flexibilidad y precisión que se puede alcanzar con el uso de un robot industrial. El producto obtenido está compuesto por tres piezas, las cuales son recogidas de sus respectivos depósitos de almacenamiento, de acuerdo con las especificaciones que se asignen. Por lo tanto, según el orden en el que se ensamblen y el tipo de piezas, existirán 21 combinaciones posibles para un producto.

Las piezas a ensamblar están representadas mediante rodamientos de bolas, las cuales se definen como: piezas “A”, piezas “B” y piezas “C”, según en el elemento de soporte en el que se encuentran (Figura 4). En la Figura 3, se presenta el proceso de ensamble, Independientemente de cuál sea la combinación de las piezas.

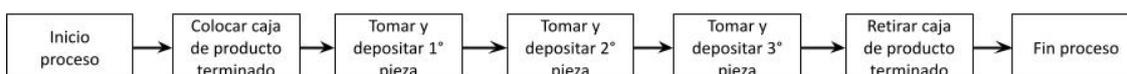


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de ensamble.

### 2.2.1 Algoritmo

La programación del proceso de ensamble se desarrolló con el uso del software RobotStudio. Se confeccionó una estación virtual idéntica a la real, lo que permitió simular el proceso las veces necesarias para que cumpla con el objetivo sin comprometer la integridad física del robot. La lógica del funcionamiento del código de programación se presenta en la Figura 5.

El proceso inicia con la asignación de las tres piezas requeridas. Para ingresar el orden de ensamblado y el tipo de pieza, en la pantalla remota (Flexpendandt) con la que cuenta el controlador del robot, se programaron las siguientes leyendas: “Defina 1° Pieza 1) A 2) B y 3) C”, “Defina 2° Pieza 1) A 2) B y 3) C” y “Defina 3° Pieza 1) A 2) B y 3) C”. Una vez ingresado los parámetros, el robot comienza a realizar los movimientos programados.



Figura 4. Disposición de las piezas "A," "B" y "C".

Al inicio del proceso se declaran tres variables IA, IB e IC con el valor 3. Lo que indica que cada elemento de soporte comienza con 3 piezas, las cuales a medida que se utilizan en el ensamblado decrece el valor de la variable de la pieza utilizada. Estas variables permiten que se genere una alarma de reposición de piezas cuando el contenedor quede desabastecido (IA o IB o IC igual a cero). Para tomar y depositar una pieza "B" o "C" la lógica del funcionamiento es la misma para ambas, ya que las piezas son siempre retiradas de la misma posición. Para piezas "A", como el elemento de soporte es distinto, el funcionamiento difiere con respecto a los anteriores. La variable IA, además de servir como alarma de reposición, permite modificar el recorrido del brazo robot para que agarre la pieza inmediata inferior a la ya empleada.

Se presenta un ejemplo, para captar el funcionamiento del algoritmo: Inicio de ensamblado,  $IA=IB=IC=3$ , con producto **definido** por 1° pieza = "A", 2° pieza = "B" y 3° pieza = "A". El robot procede a **buscar la pieza "A"**. Como la variable IA es igual a 3, **toma la pieza superior**, decrece la variable en una unidad, y **lleva la pieza a la base**. Ahora, el robot **toma la pieza "B"**, decrece la variable, y la **lleva a la base**. Por último, el robot debe tomar una pieza "A", pero como la variable IA es ahora igual a 2, el robot se dirige a la posición inmediata inferior de I3, **toma la pieza "A"** y **la lleva a la base**.

### 2.2.2 Estudio de tiempos

Para poder tomar tiempos de las tareas primero se definió la velocidad de trabajo del robot. Para ello, se realizaron una serie de pruebas, en donde se incrementó la velocidad de desplazamiento del robot, con la finalidad de detectar la máxima posible a la cual la operación se realiza exitosamente. Se determinó que la operación puede desempeñarse sin fallas a una velocidad de 5000 milímetros por segundo, siendo esta la máxima disponible por el robot.

Para poder obtener el tiempo total que insume ensamblar un producto, se dividió la operación en tareas. Un producto va a estar constituido por los tiempos de las siguientes tareas:

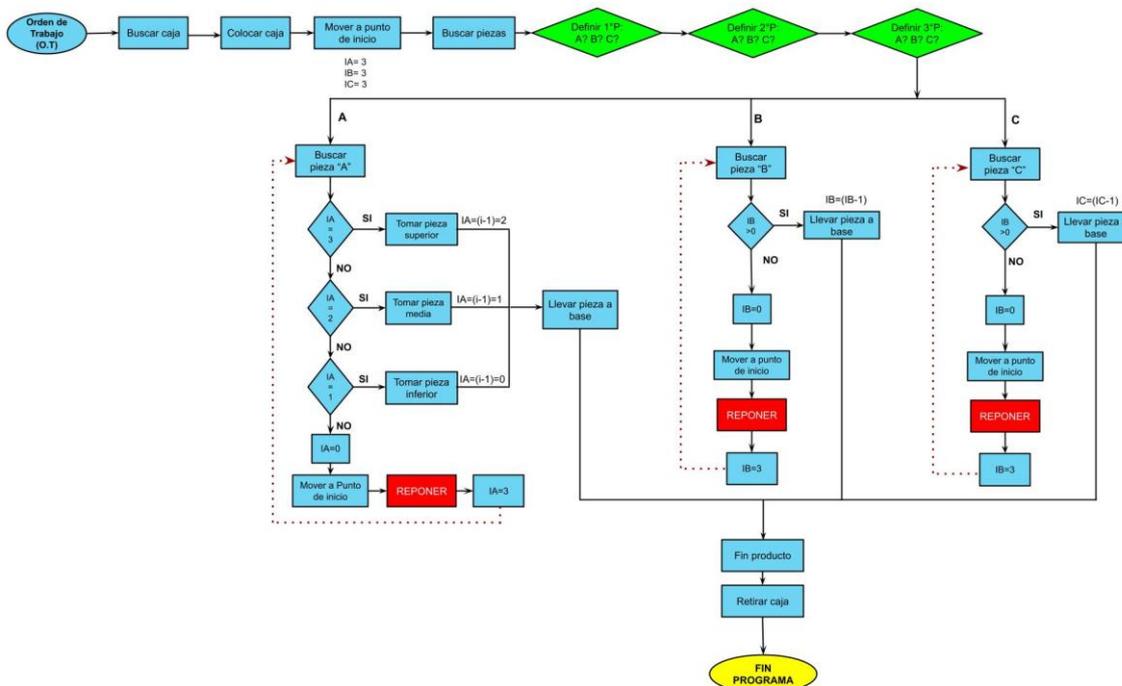


Figura 5. Lógica de funcionamiento del código de programación.

Cargar la caja producto terminado ( $t_{iCaja}$ ), tomar primera pieza ( $t_{1^{\circ}Pieza_{(A,B,C)}}$ ), tomar segunda pieza ( $t_{2^{\circ}Pieza_{(A,B,C)}}$ ), tomar tercera pieza ( $t_{3^{\circ}Pieza_{(A,B,C)}}$ ) y retirar caja de producto terminado ( $tr_{Caja}$ ). El tiempo es medido en segundos (s) y la ecuación (1) representa lo mencionado.

$$Tiempo\ de\ Producto = t_{iCaja} + t_{1^{\circ}Pieza_{(A,B,C)}} + t_{2^{\circ}Pieza_{(A,B,C)}} + t_{3^{\circ}Pieza_{(A,B,C)}} + tr_{Caja} \quad (1)$$

A su vez, existen diferentes tiempos de carga según si la pieza es "A", "B" O "C". El ciclo de una tarea de cargar una pieza, está constituido por el tiempo que tarda el robot en ir desde el punto de inicio hasta la posición del elemento de soporte, tomar la pieza, volver a dicha posición, ir a depositar la pieza y posicionarse en el punto de inicio. Como estas tareas tardan decimas de segundos, no resulta adecuado tomar el tiempo de cada una, por lo que se procedió a tomar el tiempo del ciclo completo de la tarea. Para determinar los mismos se realizaron diez muestras de cada tarea. En la Tabla 1 se exponen los resultados.

Como las 3 piezas "A" son tomadas de una posición distinta, (a diferencia de las "B" y "C" que siempre se recogen de la misma posición) los tiempos de tomar cada una varían. Dicha variación de tiempo es ínfima, por lo que se procedió a calcular los tiempos de tomar y depositar las 3 piezas seguidamente ("Tiempo para 3 piezas "A"), con estos valores se calculó el promedio de las diez muestras ("Promedio 3 piezas "A") y, por último, se obtuvo el promedio de las 3 piezas ("Promedio pieza A"). El tiempo que implica colocar y retirar la caja de producto terminado, es manual y corresponde a 3 segundos. Establecidos los tiempos de las tareas y aplicando la ecuación (1) se puede estimar con certeza el tiempo que insume el ensamblaje de un producto, cualquiera sea la combinación de sus piezas.

		N° de muestra									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempos en segundos	Tiempo para 3 piezas "A"	20,03	19,80	20,04	19,73	19,52	19,85	19,85	19,74	19,79	19,73
	Promedio 3 piezas "A"	19,808									
	Promedio pieza "A"	6,603									
	Tiempo pieza "B"	6,95	6,42	6,44	6,50	6,36	6,65	6,69	6,63	6,55	6,58
	Promedio pieza "B"	6,577									
	Tiempo pieza "C"	6,49	6,41	6,41	6,56	6,55	6,67	6,59	6,57	6,68	6,64
	Promedio pieza "C"	6,557									

Tabla 1. Tiempos en segundos de la tarea: tomar y depositar una pieza.

### 3. Conclusiones

En este trabajo se presenta el desarrollo de una estación de ensamble para un brazo robot, el cual fue programado en el software RobotStudio y validado en el laboratorio de la UTN- Facultad Regional Rafaela. Se tomaron los tiempos de ejecución de cada tarea que realiza para el ensamblado de un producto final. El cambio de producto a ensamblar no requiere de tiempos de set up. Durante las corridas realizadas el brazo robot demostró que puede ejecutar, a máxima velocidad, las tareas de ensamblaje de manera repetitiva sin cometer fallas.

El trabajo desarrollado será utilizado para mostrar a alumnos de escuelas secundarias y primarias la utilización de un brazo robot industrial. Además, el desarrollo de este trabajo permitirá continuar con la incorporación de otros componentes para fortalecer la estación de trabajo. Se espera introducir los fundamentos de Industria 4.0 para comenzar a brindarle al brazo robot características que le permitan, por ejemplo, identificar distintos tipos de piezas entre un conjunto, o bien seleccionar la pieza por material constructivo o descartar en caso de que se encuentren con defectos.

### 4. Referencias

- Abubakar, A. N., Dhar, S. L., Tijjani, A. A. y Abdullahi, A. M. (2022). Automated liquid filling system with a robotic arm conveyor for small scale industries. *Materials Today: Proceedings*, 49, 3270–3273. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.923>
- Dezaki, M. L., Hatami, S., Zolfagharian, A. y Bodaghi, M. (2022). A pneumatic conveyor robot for color detection and sorting. *Cognitive Robotics*, 2, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2022.03.001>
- International Federation of Robotics. *Robot History*.
- Juan Ruiz Quebrado. (2007). *Los Robots en la Industria*.
- Sughashini, K. R., Sunanthini, V., Johnsi, J., Nagalakshmi, R. y Sudha, R. (2021). A pneumatic robot arm for sorting of objects with chromatic sensor module. *Materials Today: Proceedings*, 45(9), 6364–6368. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.936>