



## El controlador de robots en una célula de empaquetado

Nicolás Calva Tapia, Enrique Méndez Franco\*, Gabriela López Sánchez\*\*

### RESUMEN

En este proyecto se realiza la simulación virtual de un proceso de manufactura en línea utilizando varios robots, para mostrar la programación del controlador digital de los robots en la fase de interacción con los dispositivos físicos que constituye una célula, así como para el control del proceso de empaquetado de un producto. El software empleado, es un programa especializado en el cual se tiene la capacidad de modelar, diseñar y simular sistemas de producción automáticos robotizados.

Este software tiene una interfaz de usuario muy amigable que permite un fácil manejo de los recursos disponibles. Asimismo, cuenta con una librería de dispositivos físicos y objetos, con capacidades muy robustas. Dentro de la librería se cuenta con dispositivos con las mismas características como los que se encuentran en una gran variedad de procesos en el ámbito industrial, tales como: robots de diferentes marcas y grados de libertad, pinzas, ventosas, alimentadores, sensores, actuadores, bandas transportadoras, y mesas giratorias, etc. Los objetos que contiene poseen propiedades que son fácilmente modificadas, algunas de estas como la dimensión, posición, y color.

Una vez llevada a cabo la ubicación y asignación adecuada en el espacio tridimensional que van a tener los objetos y dispositivos físicos dentro del entorno de trabajo, como lo indica el plano de distribución de la célula de empaquetado planeada. Se realiza la programación, para coordinar y controlar en forma eficiente los tiempos y movimientos en la implementación real de la ejecución del proceso de empaquetado en la línea de producción.

En esta célula los robots utilizados son de la marca Mitsubishi con su controlador correspondiente y el lenguaje de programación es MOVEMASTER, indicándose cada una de las asignaciones de las entradas y salidas de los dispositivos físicos al controlador con el que esta interactuando cada robot. Para finalmente visualizar completamente la ejecución de la tarea de control de empaquetado, se crea un video en el que se aprecia el despliegue dinámico de la operación del proceso en la simulación implementada.

### ABSTRACT

In this Project is carried out the virtual simulation of an in-line manufacturing process where several robots are in use, in order to show the programming of the robot's digital controller in the phase of interaction with the physical devices that conform a manufacturing cell, as well as the efficient form of the control of the packing process of a product. The used software is a specialized program with capacities of modeling, design and simulate robotized automatized production systems.

This software has a friendly user interface that allows an easy use of the available resources. Also include a physical devices and objects library, but with robust capacities. Inside this library there are devices with the same characteristics as that founded in a vast variety of industrial processes, such as robots of several brands and with several degrees of freedom, tweezers, suckers, gravity feeders, sensors, actuators, transporting bands, rotating tables, etc. The objects contained has properties that are easily modified as dimension, position and color.

Once is carried out the suitable localization in the three-dimensional space of the objects and physical devices inside the work environment, as is indicated in the distribution plane of the planned packing cell, is performed the programming to coordinate in a correct form the control of times and motions in the implementation of the packing process execution in the production line.

In this cell the used robots are from Mitsubishi with its controller and the programming language is MOVEMASTER, indicating each one of the input and output assignments in the controller of the physical devices which each robot is interacting. Finally, the execution of the packing task is visualized in a video where is appreciated in a dynamic form the results of the simulated process implemented.

**Palabras claves:** Digital controller, physical devices, manufacturing process, programming, virtual simulation.

### INTRODUCCIÓN

Debido a que la automatización consiste en aplicar la tecnología mecánica, eléctrica, electrónica y sistemas computarizados, para operar y controlar en forma óptima los sistemas de producción. Por lo cual se decide utilizar una herramienta computacional muy importante como es el software COSIMIR (Cell Oriented SIMulation Industrial Robots). Siendo éste un programa especializado en donde se tiene la capacidad de modelar, diseñar y

UNAM, FESC, Ingeniería, nicolascalva@yahoo.com.mx

\* UNAM, FESC, Ingeniería, itse.enrique@gmail.com

\*\* UNAM, FESC, Ingeniería,  
gaby\_lopez\_sanchez@yahoo.com.mx





simular sistemas de producción automatizados utilizando diversos tipos de robots industriales con diferentes grados de libertad.

Los diversos dispositivos físicos que se utilizan en este trabajo poseen propiedades semejantes a los que se emplean en la realidad en el ámbito industrial.

Respecto a los objetos, algunas de las propiedades modificadas son: la dimensión, posición y color que van adoptar dentro del espacio de trabajo en la célula.

En este proyecto se implementa la simulación de un proceso de manufactura en línea utilizando varios robots de la familia Mitsubishi.

Para la ejecución de la tarea de control del proceso de empaquetado en la línea de producción, la parte central es el controlador. En el cual, se conectan todos los dispositivos físicos que van interactuar en la célula con los robots para llevar a cabo en forma eficiente el empaquetado de producto en la caja. Como se puede observar en la representación en diagrama a bloques del lazo de control mostrado en la figura 1, en donde se indican los controladores correspondientes de los robots y proceso de empaquetado que se está controlando, **FESTO [6, 9], Mitsubishi [10], García [13].**

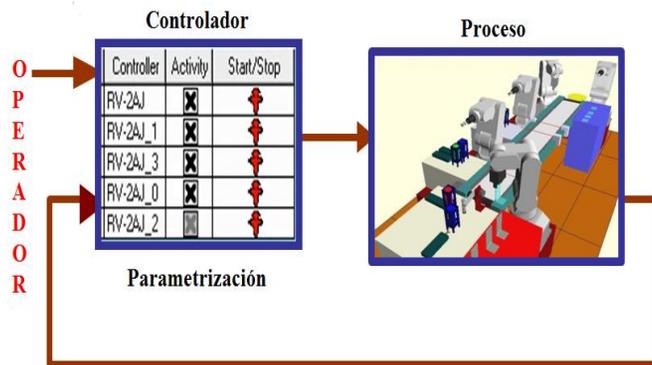


Figura 1. El diagrama de bloques del lazo de control

## ANTECEDENTES

Para la implementación de este proyecto es importante resaltar que todos los robots utilizados van a ser programados en el lenguaje MOVEMASTER o MELFA BASIC IV.

Por lo cual, debemos de mencionar algunas de las grandes ventajas que se tiene al utilizar este software, ya que cuenta con un ambiente de aprendizaje virtual para robótica industrial, el cual emplea los lenguajes de programación de los robots, tal como se realiza en el entorno real y lleva a cabo la simulación en el espacio tridimensional.

En una forma resumida se proporcionan algunos aspectos importantes para implementar la célula de empaquetado mostrada en la figura 2.

En donde se incorporan todos los objetos y dispositivos físicos que constituye la célula, tener cuidado al integrar los dispositivos físicos al controlador al momento de asignar las entradas / salidas

apropiadamente. Para realizar la comunicación teniendo previamente grabadas las posiciones de cada robot para la implementación del programa de control y poder ejecutar la simulación virtual del proceso, **FESTO [6, 9], Mitsubishi [10].**

Para realizar la interacción con el software se presenta en forma resumida los pasos que debe de seguir para estructurar una célula.

### 1) Programación (**IRL, MOVEMASTER, MELFA BASIC IV**)

Además del asistente de programación con verificación sintáctica y generación automática de trayectorias.

### 2) Se realiza la simulación en tiempo real, simulación de las cadenas de arrastre, detección de colisiones y aplicación multitareas.

## Modelado de una célula de empaquetado

Para realizar la estructuración del modelado de una célula de trabajo, en donde se incluyen los objetos y dispositivos físicos ubicados adecuadamente en el plano de distribución dentro del área de trabajo permisible, es recomendable seguir los pasos siguientes:

### a) Explorador de modelos

### b) Modificar el layout para cambiar propiedades de objetos utilizados.

### c) Librería de modelos:

#### o Diseño de la célula de empaquetado.

#### o Selección de objetos predeterminados.

#### o Mesas giratorias, bandas transportadoras, alimentadores, pinzas, robots de diferentes marcas y grados de libertad.

#### o Célula completamente implementada.

Una vez realizados los pasos anteriores se despliega una perspectiva de la célula de empaquetado completamente terminada mostrada en la figura 2, posteriormente se asigna la conexión de los sensores y actuadores con los controladores indicados para implementar los programas de todos los robots y ejecutar la tarea de control planteada, **Calva [2, 11], FESTO [6, 9].**

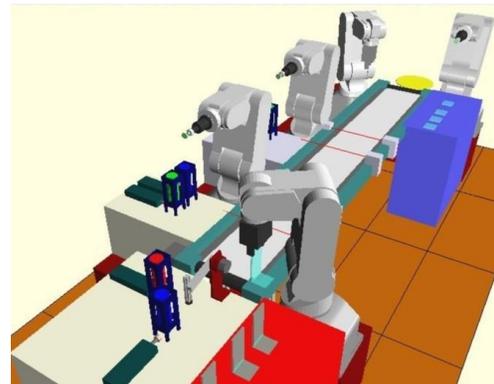


Figura 2. Perspectiva general de la distribución de la célula



## DESARROLLO

Se debe de tener en cuenta, en el desarrollo del proyecto de la célula de empaquetado de un producto en una línea de producción las siguientes consideraciones:

- La realización de este proyecto se implementó en su totalidad dentro de una máquina virtual para evitar la pérdida de datos, debido a que esta versión de software no tiene la capacidad de guardar el espacio de trabajo.
- Esta versión del software no permite la eliminación de elementos ya creados, así que se procedió de la forma más precavida posible para evitar llenar el espacio de trabajo de elementos innecesarios.

### 1. Proyecto controlador digital

Después de tener correctamente instalada la máquina virtual y el software **COSIMIR** se procedió a abrir el programa y crear un nuevo proyecto llamado el controlado de robots en una célula de empaquetado ( controlador digital).

### 2. Importación del robot RV-2AJ

Seguidamente se importó nuestro primer robot, siendo este un robot RV-2AJ de la familia Mitsubishi. Revisando que el lenguaje de programación predeterminado sea MOVEMASTER.

### 3. Importar objetos y dispositivos físicos

Ya dentro de nuestra área de trabajo importamos los siguientes objetos y dispositivos físicos ubicándolos adecuadamente en el espacio de trabajo, para realizar la implementación en el plano de distribución de la célula de empaquetado. Estos objetos, dispositivos físicos y la cantidad utilizada se indica en tabla 1.

Tabla 1. Objetos y dispositivos físicos importados

Librería	Elemento a importar	Cantidad a importar
Miscellaneous Grippers	Parallel gripper	1
	Vacuum gripper	3
Miscellaneous Mechanisms	Conveyor Belt	2
	Conveyor Belt 1	1
	Parts Feeder	6
	Turn Table	1
	Turning Mover	1
	Two Way Push Cylinder	6
Miscellaneous Primitives	Box	9
Miscellaneous Sensors	Color Sensor	2
	Light Barrier	2
Mitsubishi - Robots	Robot RV-2AJ	4

Para entrar a las librerías se tiene que presionar el botón execute en la barra de programa y en la lista desplegada hacer clic en “**Model Libraries**” para poder agregar los objetos y dispositivos físicos requeridos en la implementación de la célula.

### 4. Adaptación del área de trabajo

Después amplíe el área del piso, el cual se puede modificar seleccionando en el menú **Extras/Setting/Floor**. valores **X=1500, Y=3000**. Además de cambiar su color a café.

### 5. Propiedades de objetos y dispositivos

Como se puede observar en la captura anterior a los elementos importados se les coloca un número automáticamente. A continuación se pondrán en las tablas **2, ..., 8**. Indicándose las características de posición, tamaño y color de cada uno de los elementos importados, **Mitsubishi [5, 10], Granados [1]**. Adicionalmente se modificó el color de las cajas para diferencias entre las cajas usadas de base de los robots y las cajas usadas como mesa.

Tabla 2. Dimensión y posición de las cajas en la célula

Propiedades		Box	Box_1	Box_2	Box_3	Box_4
Dimensión	X	500	400	400	400	250
	Y	500	2150	250	250	500
	Z	463	245	255	255	500
Posición	X	-270	-510	-510	-510	180
	Y	-1300	-800	-700	-100	505
	Z	0	0	245	245	0
Color		Arena	Rojo F	Arena	Azul C	Azul F
Propiedades		Box_5	Box_6	Box_7	Box_8	
Dimensión	X	200	250	250	250	
	Y	200	200	600	250	
	Z	325	245	500	245	
Posición	X	-50	185	210	215	
	Y	1025	1015	-1230	-615	
	Z	0	0	0	0	
Color		Rojo	Rojo F	Rojo C	Rojo F	

Tabla 3. Propiedades de las bandas transportadoras

Propiedades	ConveyorBelt	ConveyorBelt_1	ConveyorBelt_2
Posición	X	200	350
	Y	-800	-1345
	Z	0	500



En esta célula se utilizan tres bandas transportadoras, la banda transportadora principal que está al centro tiene un color claro es la encargada de transportar el producto en la caja a las diferentes estaciones de suministro. Y las otras bandas transportadoras secundarias, la de color rojo se encargan de mover las cajas y la de color azul es la que traslada las tapas que el robot coloca en las cajas de productos para terminar los empaquetados.

**Tabla 4. Posición de alimentadores por gravedad**

Propiedades	Feeder 2	Feeder 2_1	Feeder 2_2	Feeder 2_3	Feeder 2_4	Feeder 2_5	
Posición	X	-60	45	-265	-265	-270	-280
	Y	-912	-1017	-510	-580	90	10
	Z	463	463	500	500	500	500
Color	Rojo	Azul	Azul	Verde	Verde	Rojo	

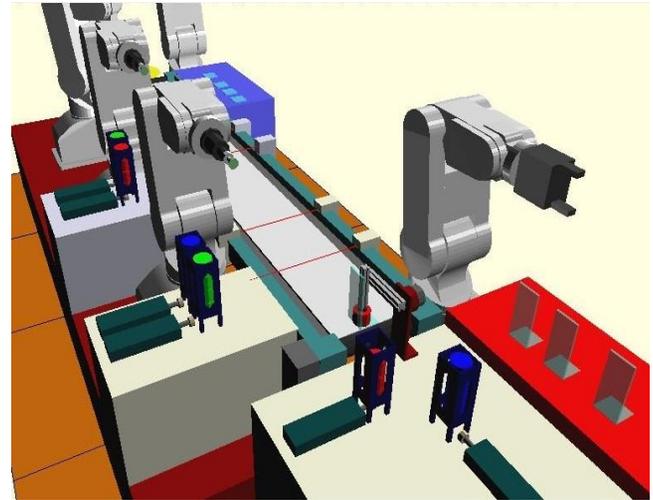
Al emplear seis alimentadores de piezas por gravedad y solo tres colores disponibles de piezas en la paleta de colores del sensor. En donde se fueron intercalando los colores indicados en la distribución de los alimentadores, esto se puede observar en la perspectiva de la célula de empaquetado.

Además de cada alimentador de piezas por gravedad tiene asignados cilindros de doble efecto para la expulsión de la pieza y colocarla al alcance del robot para que éste la pueda manipular adecuadamente, como se muestran estos dispositivos físicos en la figura 3.

Respecto a los cilindros de doble efecto, los cuales expulsan las piezas de producto de los alimentadores se proporciona su posición y orientación que tienen cada uno de ellos en la célula.

**Tabla 5. Cilindros de doble efecto**

Propiedades	TwoWay Cylinder	TwoWay Cylinder_1	TwoWay Cylinder_2	
Posición	X	-100	35	-340
	Y	-922	-1092	-515
	Z	463	463	500
Roll	0	90	0	
Pitch	0	0	0	
Yaw	0	0	0	
Propiedades	TwoWay Cylinder_3	TwoWay Cylinder_4	TwoWay Cylinder_5	
Posición	X	-340	-325	-325
	Y	-585	85	0
	Z	500	500	500
Roll	0	0	0	
Pitch	0	0	0	
Yaw	0	0	0	



**Figura 3. Alimentadores de piezas por gravedad**

La célula cuenta con dos tipos de sensores: de color y de detección de objetos. En el caso del sensor de detección se requiere que estos estén alineados pero en direcciones opuestas. Como también se pueden apreciar en la figura 3. Indicándose en la tabla 6 sus propiedades y ubicación correspondiente de cada uno.

**Tabla 6. Propiedades de los sensores**

Propiedades	Lich-tempf	Light-Barrier	Light-Barrier_1	Lich-tempf_1
Posición	X	165	-80	165
	Y	-300	-300	300
	Z	500	500	505
Roll	-180	-80	-80	-180
Pitch	90	-300	300	90
Yaw	0	500	505	0
Color	Arena	Arena	Azul C	Azul C
Propiedades	Sensor-Color	Sensor-Color_1		
Posición	X	165	165	
	Y	-500	100	
	Z	500	520	
Roll	180	180		
Pitch	90	90		
Yaw	0	0		
Color	Arena	Azul C		



Tabla 7. Posición del transportador de piezas y mesa giratoria

Propiedades		TurningMover	TurnTable
Posición	X	60	50
	Y	-850	1125
	Z	463	325
Color		No modificado	Amarillo

Como se mencionó anteriormente se modificaron los colores de algunos de los diferentes elementos de la célula con intenciones estéticas o de visualizar la funcionalidad.

La colocación de cada robot **RV-2AJ** en la célula, en donde dos de ellos tienen colocada una pinza en la brida son los que manipulan la caja, los dos colocados en la parte intermedia tienen acoplada una ventosa para tomar el producto para colocarlo en la caja, y en el extremo está ubicado el robot que tiene acoplada una ventosa para tomar la tapa y colocársela a la caja llena de producto. La colocación del producto en la caja por los robots y manipulador se muestra en la figura 4, Calva [2, 11], FESTO [10], Mitsubishi [5, 10].

Tabla 8. Ubicación de los robots en la célula

Propiedades		RV-2AJ	RV-2AJ_0	RV-2AJ_1	RV-2AJ_2	RV-2AJ_3
Posición	X	-200	290	-200	-215	275
	Y	-300	-515	300	890	1115
	Z	275	275	275	275	275
Roll		0	180	0	0	180
Pitch		0	0	0	0	0
Yaw		0	0	0	0	0

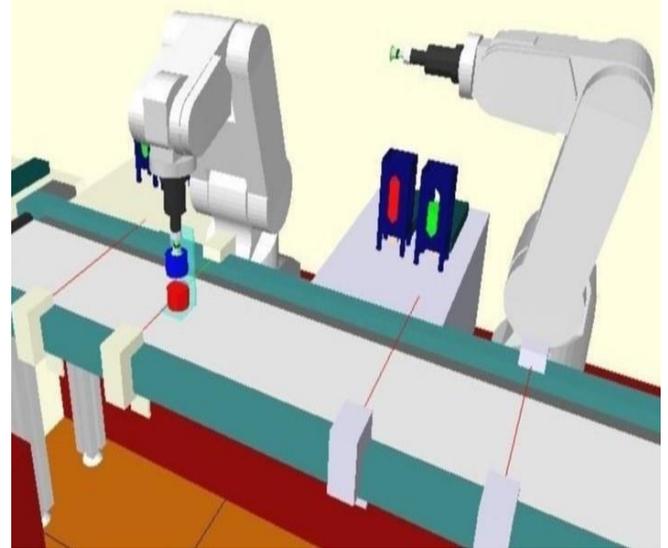


Figura 4. Colocación de piezas en la caja

#### 6. Realización de cajas y tapas que envuelven al producto.

Lo más destacable en la realización de las cajas y tapas, fue encontrar que tuvieran un color transparente para poder observar mejor el material que se encuentra adentro de ellas. Además de lograr que al introducir el producto dentro de su dominio estos se pueden moverse al unísono con la pinza, cosa que no es posible con la configuración normal de las piezas y las cajas. Esto se realizó colocando una superficie especial que permite que las piezas se adhieran a la caja.

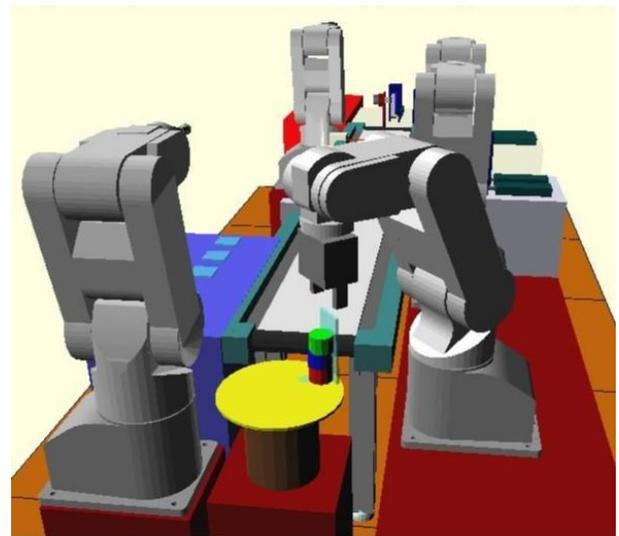


Figura 5. Colocación de la caja sobre la mesa giratoria



**7. La función del controlador digital de los robots**

Es el dispositivo principal, el cual es utilizado para modificar el comportamiento dinámico del sistema, es decir, la parte del cerebro. Donde se realizan las conexiones entre robots, dispositivos y sensores para implementar los programas de control para la ejecución óptima de la tarea planeada.

Esta es una de las partes más importantes del proyecto, ya que estas conexiones son las que permiten a los robots comunicarse entre ellos, y a su vez poder recibir señales de su entorno para control de sus funciones, por tanto una adecuada asignación de estas conexiones es vital para el correcto funcionamiento de la célula de empaquetado, en la tabla 8, se indica la función que realiza el dispositivo como entrada (I) y como salida (O), **Granado [1], Zavala [12], Barrientos[4]**

**Tabla 8. Función que realiza el dispositivo como I / O**

Conveyor Belt		
I	BeltOn	Inicia el movimiento de la banda
	BeltBackw	Hace que la banda gire en dirección contraria
O	PartAtEnd	Indica si hay alguna pieza al final de la banda
Feeder		
I	Next Part	Alimenta la pieza siguiente
O	PartAvailable	Indica si hay o no piezas
Turning Mover		
I	ToPositionA	Hace girar el manipulador a la posición A
	ToPositionB	Hace girar el manipulador a la posición B
	Grip	Sujeta la pieza
	Release	libera la pieza
O	AtPositionA	Indica si el manipulador se encuentra en la posición A
	AtPositionB	Indica si el manipulador se encuentra en la posición B
Turn Table		
I	TurnOnce	Gira la mesa
O	StandingStill	Detecta cada 90° la posición de la mesa (4 giros)
Two Way Push Cylinder		
I	MoveOut	Mueve el pistón hacia fuera
	MoveIn	Mueve el pistón hacia dentro
O	MovedOut	Indica si el pistón está extendido
	MovedIn	Indica si el pistón está retraído

8. Para simular las conexiones eléctricas existentes entre los controladores virtuales de cada robot y los dispositivos dinámicos que interactúan con ellos, es necesario realizar una

serie de conexiones entre las **Outputs** e **Inputs** del sistema a controlar, como se indican en la tabla 4 y 5, por ejemplo del robot RV-2AJ y la función que realiza el dispositivo.

9. Las **Inputs** de los dispositivos que interactúan van conectadas a las **Outputs** del robot correspondiente y en forma **viceversa para las Outputs**. Esto es necesario para tener comunicación entre los dispositivos dinámicos y el controlador virtual correspondiente de los robots.

Para realizar las conexiones se deberán de seguir éstos pasos:

A. Seleccionar el Objeto **RV-2AJ** en el Model Explorer y desplegar sus **Inputs**. Se puede observar que todas tienen un index de tres dígitos y están inactivas, [**inactive 000**], como se muestra en la imagen siguiente.

B. Ahora se procede a **renombrar** cada una de las **Inputs**, para que reconozcamos fácilmente qué dispositivo físico está conectado a ellas. Haciendo clic derecho sobre la **Input** elegida, se selecciona **Rename** y se escribe el nuevo nombre, el cual debe ser diferente (**o simplemente anexar la primera letra al inicio del nombre del dispositivo físico seleccionado**).

i. Se asignará un nombre a cada entrada (**Input**) del robot por cada salida (**Output**) de los dispositivos.

ii. Se realiza el mismo procedimiento a la inversa. Es decir, ahora asigna un nombre a cada salida (**Output**) del robot por cada entrada (**Input**) de los dispositivos.

iii. Una vez hecho esto, se realiza la conexión de entradas con salidas. Dicha conexión se logra seleccionando la salida del dispositivo y arrastrándola hacia la entrada designada en el robot. Realizando el mismo procedimiento para la conexión de entradas del dispositivo con salidas del robot. Teniendo cuidado de conectar las **outputs** a partir del índice **000**.

iv. Para abrir la ventana que contiene las entradas y salidas del **controlador virtual**, se hace lo siguiente: se abre el menú **Extras**, y se selecciona el submenú **Monitor**.

Como se puede observar aquí, la salida de la Conveyor Belt (**PartAtEnd**) se selecciona y se **arrastra** hacia la entrada del robot indicado, la cual se designó anteriormente con el nombre de Banda (**PPartAtEnd**).

10. Se realiza el mismo procedimiento para lo conexión de entradas y salidas correspondientes a los robots **RV-2AJ-0** hasta **RV-2AJ\_3**, como se indican en la **tablas 9, ..., 13**. Para completar la comunicación de todos los dispositivos que integran el sistema, y así implementar la estrategia de control de la célula de trabajo robotizada en la manipulación del producto, **Mitsubishi [5], Valdez [2]**.



Tabla 9. I/O de dispositivo físicos al controlador del robot RV-2AJ\_0

Dispositivo Físico	I: RV-2AJ_0	O: RV-2AJ_0	No. de I/O
ConveyorBelt_1 (Banda)	PartAtEnd	BeltOn	0003
		BeltBackw	0004
RV-2AJ_0		Accion 0	0042
RV-2AJ_3	Accion 4		0046

Tabla 10. I/O de dispositivo físicos al controlador del robot RV-2AJ\_1

Dispositivo Físico	I: RV-2AJ_1	O: RV-2AJ_1	No. de I/O
Feeder2_4	PartAvailable	NextPart	0007
Feeder2_5	PartAvailable	NextPart	0008
TwoWayCylinder_4	MovedOut	MoveOut	0013
	MovedIn	MoveIn	0014
TwoWayCylinder_5	MovedOut	MoveOut	0015
	MovedIn	MoveIn	0016
LightBarrier_1	Out		0033
ColorSensor	Out Red		0034
	Out Green		0035
	Out Blue		0036
RV-2AJ	Accion1		0043
RV-2AJ_1		Accion3	0044

Tabla 11. I/O de dispositivo físicos al controlador del robot RV-2AJ

Dispositivo Físico	I: RV-2AJ	O: RV-2AJ	No. de I/O
ConveyorBelt	PartAtEnd	BeltOn	0001
		BeltBackw	0002
Feeder2	PartAvailable	NextPart	0007
Feeder2_1	PartAvailable	NextPart	0008
Feeder2_2	PartAvailable	NextPart	0009
Feeder2_3	PartAvailable	NextPart	0010
TwoWayCylinder	MovedOut	MoveOut	0013
	MovedIn	MoveIn	0014

TwoWayCylinder_1	MovedOut	MoveOut	0015
	MovedIn	MoveIn	0016
TwoWayCylinder_2	MovedOut	MoveOut	0017
	MovedIn	MoveIn	0018
TwoWayCylinder_3	MovedOut	MoveOut	0019
	MovedIn	MoveIn	0020
Turning Mover	AtPositionA	ToPositionA	0025
	AtPositionB	ToPositionB	0026
		Grip	0027
		Release	0028
LightBarrier	Out		0029
ColorSensor	Out Red		0030
	Out Green		0031
	Out Blue		0032
RV-2AJ_0	Accion0		0042
RV-2AJ	Accion1		0043
RV-2AJ_1	Accion2		0044
RV-2AJ_2	Accion3		0045
RV-2AJ_3	Accion4		0046

Tabla 12. I/O de dispositivo físicos al controlador del robot RV-2AJ\_2

Dispositivo Físico	I: RV-2AJ_2	O: RV-2AJ_2	No. I/O
ConveyorBelt	PartAtEnd	ABeltOn	0001
LightBarrier_3	Out		0007
RV-2AJ	Accion2		0044

Tabla 13. I/O de dispositivo físicos al controlador del robot RV-2AJ\_3

Dispositivo Físico	I: RV-2AJ_3	O: RV-2AJ_3	No. I/O
ConveyorBelt_1	PartAtEnd		0001
ConveyorBelt_2	PartAtEnd	BeltOn	0005
		BeltBackw	0006
Sensor Color_3	Out		0037



	Out Red		0038
	Out Green		0039
	Out Blue		0040
TurTable	StandingStill	TurnOnce	0041
RV-2AJ_2	Accio3		0045
RV-2AJ_2		Accio3	0046

4	30.0 , - 289.4 , 253.3	90 , 179 , R , A
3	234.6 , 5.4 , 265.6	31 , -180 , R , A
2	30.0 , - 218.2 , 253.0	90 , 179 , R , A
1	0.0 , - 300.0 , 550.0	0 , 90 , R , A

Tabla 16. Posiciones y orientaciones del robot RV-2AJ\_1

11. Se emplearon las herramientas de enseñanza del software para grabar las posiciones requeridas de cada uno de los robots, al realizar se debe tener cuidado para que estén dentro de la envolvente de trabajo del robot para realizar la manipulación correcta, indicándose las posiciones de los robots que constituyen la célula de empaquetado de un producto estas se indican en las tablas 14., . . . ,18. Estando etiquetadas con el tipo de robot correspondiente.

Tabla 14. Posiciones y orientaciones del robot RV-2AJ\_0

No	POSICIÓN RV-2AJ_1	ORIENTACIÓN RV-2AJ_1
	X , Y , Z	A/P , B/R ,
8	29.9 , - 217.9 , 321.6	31 , 179 , R , A
7	235.8 , 17.3 , 350.0	31 , 179 , R , A
6	16.9 , - 296.3 , 317.4	90 , 179 , R , A
5	236.0 , 17.3 , 295.0	31 , 179 , R , A
4	16.9 , - 296.7 , 253.7	90 , 179 , R , A
3	236.0 , 17.3 , 293.8	31 , 179 , R , A
2	30.0 , - 218.4 , 253.7	90 , 179 , R , A
1	0.0 , - 300.0 , 550.0	0 , 90 , R , A

No	POSICIÓN RV-2AJ_0	ORIENTACIÓN RV-2AJ_0
	X , Y , Z	A/P , B/R ,
6	270.5 , 37.0 , 319.7	- 90 , 180 , R , A , N
5	277.7 , 37.6 , 340.0	- 86 , 179 , R , A , N
4	145.0 , 35.0 , 370.0	- 90 , - 180 , R , A , N
3	13.3 , 162.2 , 337.6	- 92 , - 180 , R , A , N
2	13.3 , 162.2 , 370.0	- 92 , - 180 , R , A , N
1	0.0 , 300.0 , 550.0	0 , 90 , R , A , N

Tabla 17. Posiciones y orientaciones del robot RV-2AJ\_2

Tabla 15. Posiciones y orientaciones del robot RV-2AJ

No	POSICIÓN RV-2AJ_2	ORIENTACIÓN RV-2AJ_2
	X , Y , Z	A/P , B/ R ,
6	195.2 , 178.8 , 331.9	50 , 180 , R , A
5	233.8 , 53.6 , 338.6	90 , 180 , R , A
4	268.8 , 148.0 , 318.4	- 4 , 177 , R , A
3	195.2 , 178.8 , 301.9	50 , 180 , R , A
2	100.0 , - 100.0 , 350.0	81 , 178 , R , A
1	233.8 , 53.6 , 310.0	90 , 180 , R , A

No	POSICIÓN RV-2AJ	ORIENTACIÓN RV-2AJ
	X , Y , Z	A/ P , B/R ,
8	29.9 , - 217.9 , 320.0	90 , 179 , R , A
7	236.8 , 5.9 , 349.2	31 , 179 , R , A
6	29.9 , - 288.8 , 325.4	90 , 179 , R , A
5	237.3 , 5.9 , 266.5	31 , 179 , R , A



Tabla 18. Posiciones y orientaciones del robot RV-2AJ\_3

No	POSICIÓN RV-2AJ_3			ORIENTACIÓN		
	X	Y	Z	A/P	B/R	
7	282.7	30.6	322.8	47	180	R, A
6	- 22.7	192.3	308.2	- 93	- 180	R, A
5	223.0	57.6	319.7	0	- 180	R, A
3	282.7	30.6	292.1	47	180	R, A
2	- 22.7	192.0	229.9	- 93	- 180	R, A
1	0.0	- 300.0	550.0	0	90	R, A

- 30 OB + 7
- 35 OB + 13
- 40 TBD - 13, 40
- 45 OB - 13
- 50 OB - 7
- 55 OB + 14
- 60 TBD -14, 60
- 65 OB -14
- 70 GT 130
- 75 OB + 8
- 80 OB + 15
- 85 TBD - 15, 85
- 90 OB - 15
- 95 OB + 16
- 100 TBD -16, 100
- 105 OB - 16
- 110 OB - 8
- 130 OB - 28
- 135 OB + 26
- 140 TBD -26, 140
- 150 OB - 26
- 160 OB + 27
- 170 OB + 25
- 180 TBD - 25, 180
- 190 OB - 25
- 191 OB - 27
- 192 OB + 28
- 200 OB + 1
- 210 TBD - 30, 230
- 220 GT 600
- 230 TBD - 32, 210
- 240 TBD - 29, 240
- 250 OB - 1
- 260 OB + 10
- 270 OB + 19
- 280 TBD -19, 280
- 290 OB - 19
- 300 OB + 20
- 310 TBD - 20, 310
- 320 OB - 20
- 330 MO 4
- 340 OB + 907
- 350 MO 5
- 360 OB - 907
- 370 MO 1
- 380 GT 900
- 600 TBD - 29, 600
- 610 OB - 1
- 620 OB + 9
- 630 O B + 17
- 640 TBD - 17, 640
- 650 OB - 17
- 660 OB + 18
- 670 TBD - 18, 670

12. Programación de cada robot

Para implementar el programa de todos los robots incluidos en esta célula se utilizó el lenguaje de programación MOVEMASTER., indicándose los listados de los programas desarrollados de los robots **RV-2AJ** con la numeración correspondientes que integran la célula, asignando el mismo nombre de cada robot al programa, **FESTO [6, 9]**.

**ROBOT [RV-2AJ\_0]**

- 10 SC 1, 0
- 12 OB - 42
- 15 TBD - 46, 15
- 20 OB +3
- 30 TBD -3, 30
- 300 OB - 3
- 310 MO 2
- 320 OB + 907
- 330 MO 3
- 340 OB - 907
- 350 MO 1
- 360 OB + 42
- 365 TI 10
- 380 IC 1
- 390 CP 1
- 400 EQ 4 , 420
- 410 GT 12
- 420 ED

**ROBOT [RV-2AJ]**

- 10 SC 1, 0
- 20 TBD - 42, 20
- 21 OB + 25
- 22 TBD - 25, 22
- 23 OB - 25
- 24 CP 1
- 25 EQ 1, 75
- 26 EQ 3, 75





680 OB - 18  
690 MO 2  
700 OB + 907  
710 MO 3  
720 OB - 907  
730 MO 1  
740 OB - 9  
900 OB + 1  
910 TBD - 44, 910  
920 OB - 1  
930 TBD - 44, 930  
940 OB + 1  
950 TBD - 1, 950  
955 OB - 1  
960 TBD - 46, 960  
970 IC 1  
980 CP 1  
990 EQ 4, 1010  
1000 GT 20  
1010 ED

**ROBOT [RV-2AJ\_1]**

10 SC 1, 0  
100 TBD - 35, 120  
110 GT 300  
120 TBD - 36, 100  
130 TBD - 33, 130  
140 OB + 44  
150 OB + 11  
160 OB + 21  
170 TBD - 21, 170  
180 OB - 21  
190 OB - 11  
200 OB - 22  
210 TBD - 22, 210  
110 MO 2  
220 OB -22  
230 MO 2  
240 OB + 907  
250 MO 3  
260 MO 3  
270 MO 1  
280 OB - 44  
285 GT 450  
300 TBD - 33, 300  
305 OB + 44  
310 OB + 12  
320 OB + 23  
330 TBD - 23, 330  
340 OB - 23  
350 OB - 12  
360 OB + 24  
370 TBD - 24, 370  
380 OB -24  
400 OB + 907

410 MO 5  
420 OB -907  
430 MO 1  
440 OB - 44  
450 IC 1  
460 CP 1  
470 EQ 4, 490  
480 GT 100  
490 ED

**ROBOT [RV-2AJ\_2]**

10 SC 1, 0  
90 OB - 45  
95 TI 30  
100 TBD -1, 100  
110 MO 1  
120 OB + 907  
130 MO 2  
140 MO 3  
145 TI 10  
150 OB - 907  
160 MO 2  
170 OB + 45  
180 IC 1  
190 CP 1  
200 EQ 4, 220  
210 GT 90  
220 ED

**ROBOT [RV-2AJ\_3]**

10 SC 1, 0  
15 OB - 46  
100 TI 20  
101 OB -46  
105 TBD -46, 205  
110 OB + 5  
120 TBD -5, 120  
130 OB - 5  
140 MO 3  
150 OB + 907  
160 MO 3  
170 OB - 907  
180 MO 1  
190 OB + 41  
195 TBD - 41, 195  
196 OB - 41  
200 IC 1  
220 CP 1  
225 OB + 46  
230 EQ 4, 250  
240 GT 100  
250 ED



### 13. Operación de la célula de empaquetado.

La célula de trabajo cuando está en operación con los diferentes dispositivos físicos que la constituye es mostrada en la figura 6, en donde los robots pueden adoptar cualquier pose inicial de reposo, una vez editado el programa para cada robot, éste se compila y queda listo para realizar la secuencia completa establecida incluyendo la visualización virtual. Además se describe en forma resumida la operación de la célula de empaquetado en los pasos siguientes, Barrientos [4].

- El robot RV-2AJ\_0 toma la caja y la coloca sobre la banda transportadora principal.**  
Entonces el cilindro de doble efecto se activa y empuja la pieza hasta la posición donde será tomada por el rótico (manipulador) y la coloca dentro de la caja.
- La banda principal se activa, transportando la caja hasta que es detectada por el sensor y se detiene.**  
El robot RV-2AJ toma el otro producto y la deposita en la caja para continuar su traslado.  
Hasta que el sensor detecta el tercer producto el cual es introducido a la caja por el robot RV-2AJ\_1.
- En el otro extremo de la banda principal se detiene,** para el robot RV-2AJ\_2 tome la caja para colocarla sobre la mesa giratoria. Entonces el último robot RV-2AJ\_3 coloque la tapa a la caja, finalmente la mesa gira 90° para posicionarse en el lugar donde recibirá la siguiente caja entregada y empaquetada por el robot.
- El ciclo se repite sucesivamente, hasta que todas las cajas se terminen de empaquetar sobre la mesa para su posterior traslado.**

### 14. Resultados y análisis

Una vez supervisada la descripción de las etapas de manipulación del productos y planeado el proceso de empaquetado realizado por los robots que interactúan en la célula, se realizó la implementación de los programas para el control en cada uno de los robots, considerando las entradas y salidas de cada uno de los dispositivos físicos conectados al controlador virtual correspondiente.

Se procedió a realizar la simulación para comprobar que su funcionamiento tuviera el mejor rendimiento posible en la célula de empaquetado, entonces se revisó varias veces la operación de la tarea planeada para llevar a cabo la depuración de los programas.

Para finalmente crear un video en donde se muestra toda la operación de dicho proceso, indicándose en las figuras 6,....,8 una perspectiva de la célula de empaquetado de un producto. En el cual se observan todos los objetos y dispositivos físicos en operación, así como el despliegue dinámico de la ejecución de los programas correspondientes, Calva [2,11], García [13].

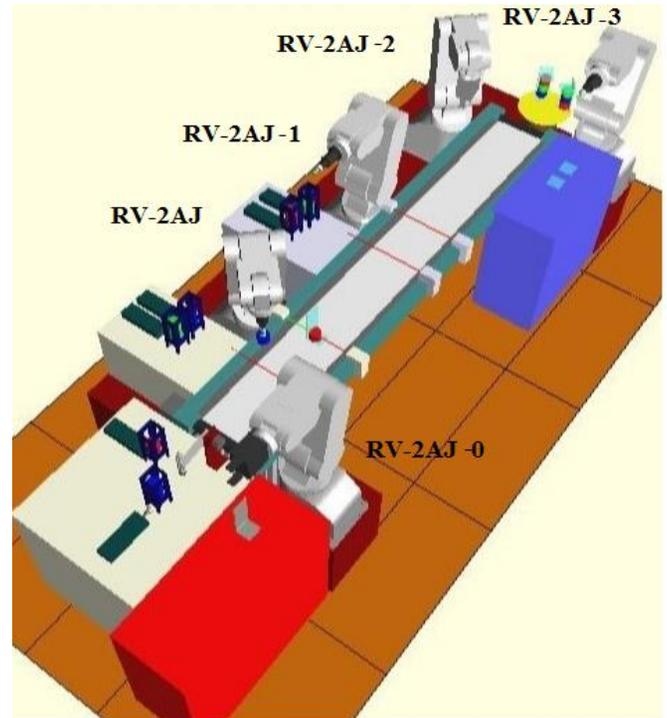


Figura 6. Perspectiva de operación del proceso de empaquetado

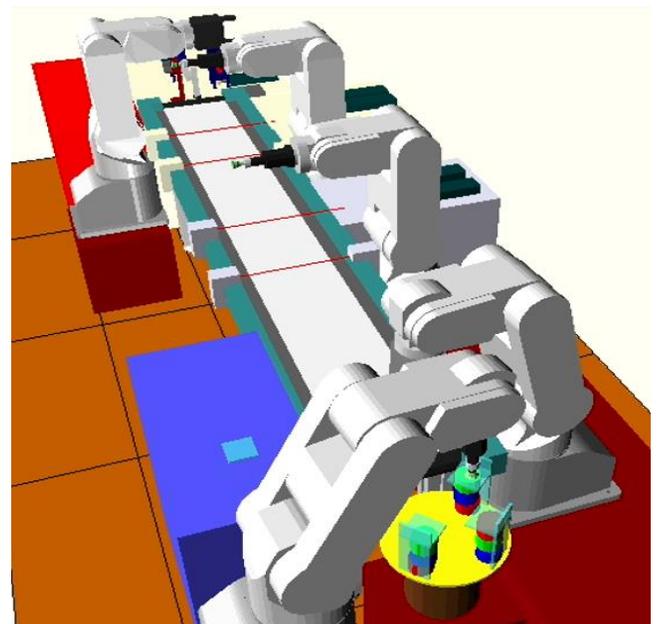


Figura 7. Vista de colocación de tapa a la caja

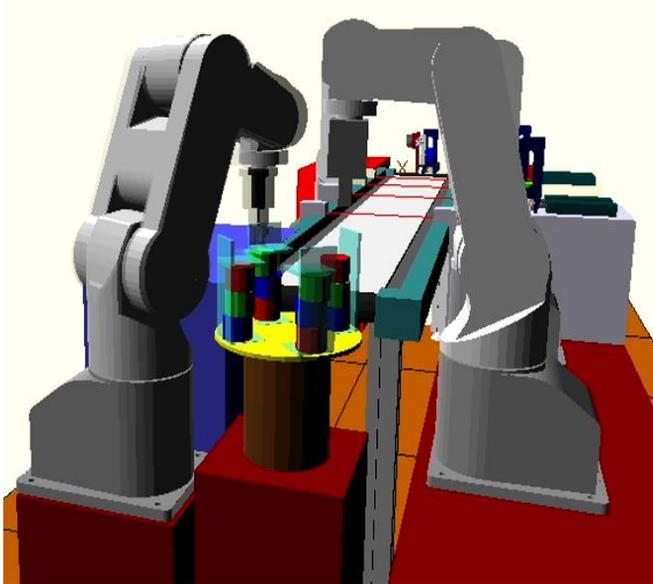


Figura 8. Terminación del proceso de empaquetado

## CONCLUSIÓN

La realización del proyecto representó un reto, debido a que en el proceso de investigación que se realizó, primeramente para poder lograr que la pinza moviera todas las piezas al mismo tiempo para colocarlas sobre la mesa. Otra situación interesante con la que se tuvo que afrontar, es que al ser este software una versión “educativa” no cuenta con recursos como el replicador. Por lo tanto, no se pueden crear plantillas y se tuvieron que realizar diferentes cajas en vez de replicar una. Al finalizar la implementación, se siente uno satisfecho ya que se aprende muchísimo de cómo se comunican los robots al controlador para interactuar con su entorno de trabajo.

Siendo el controlador la parte trascendental en el proceso de empaquetado, se debe tener mucho cuidado en la asignación de las entradas y salidas al controlador de los diferentes dispositivos físicos que se integran, debido a que finalmente se utilizan estas (I/O) en la implementación del programa para llevar a cabo la ejecución de la estrategia de control en la célula, tanto en la implementación en forma virtual como en lo real de un proceso de empaquetado en una línea de producción.

Debido al uso de éstos simuladores para implementar, analizar y diseñar modelos de sistemas sin la necesidad de la implementación física. Lo cual en muchas ocasiones puede ahorrar tiempo y dinero, además de que permite acceder a recursos y herramientas que debido a su alto costo o de difícil adquisición, no se pueden tener físicamente dentro de los laboratorios. Por lo cual, se logra contribuir al aprendizaje y adquisición de nuevos conocimientos con la aplicación de ésta herramienta en las licenciaturas afines.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Granados Jasso Antonio, Automatización de una Celda Flexible de Manufactura, de IME, FESC-UNAM, 2011.
- [2] Calva Tapia Nicolás, López Sánchez G., Implementación Virtual de una Celda de Trabajo Robotizada, Séptimo Congreso Científico Tecnológico, FESC-UNAM, 2012.
- [3] Valdez García Álvaro, Ramírez Torres Hantz, Construcción de un Tablero de Control para Simulación de Procesos Industriales, Tesis de IME, FESC-UNAM, 2004.
- [4] Barrientos García Gerardo, Sistemas de Control de un Proceso, Trabajo Profesional de IME, FESC-UNAM, 2010.
- [5] Mitsubishi Electric Industrial Automation, MELFA Industrial Robots Instruction Manual, 2002
- [6] FESTO, COSIMIR INDUSTRIAL, 2004
- [7] Daniel E. Kandray, Programmable Automation Technologies, Industrial Press Inc., New York, 2010.
- [8] U. Karras, CIROS Robotics, Festo Didactic GmbH & KG, Germany, 2008.
- [9] FESTO, COSIMIR EDUCATIONAL, 2004
- [10] Mitsubishi Electric, Industrial Automation, 2002.
- [11] Calva Tapia Nicolás, López Sánchez G., Prácticas de robótica con dispositivos físicos virtuales, 10º Congreso Científico Tecnológico, FESC-UNAM, 2015.
- [12] Zavala Jurado Carlos José, Medición de Piezas Mecánicas y Aplicación de Soldadura Mediante Robot, Tesis de IME, FESC-UNAM, 2000.
- [13] García Pérez Miguel Ángel, Puesta en marcha de un sistema autónomo de paletizado en una línea de producción, Trabajo profesional de IME, FESC-UNAM, 2017.