



Informe de Práctica Profesional Supervisada

Alumno:	Nombre y apellido: Federico Prieri DNI: 33442010
Nombre de la institución:	Laboratorio CIM. UNLZ-FI
Tutor institucional y académico:	Nombre y apellido: Matías Hirak Cargo: ayudante de laboratorio
Firma del tutor institucional:	

Índice

Reservado a la Facultad para la evaluación	3
Lugar en donde he realizado las PPS	4
Detalle del trabajo realizado	5
Marco teórico	5
Grafos	5
Editor de productos y Simulador de tiempos de ejecución.....	7
Editor de productos	8
Simulador de tiempos de ejecución	10
Actividad didáctica.	10
Conclusiones.....	13

Reservado a la Facultad para la evaluación

Lugar en donde he realizado las PPS

El laboratorio CIM de la UNLZ-FI cuenta de una línea de proceso totalmente automatizada provista por la empresa ESHED Robotics. La misma se encuentra disfuncional en la actualidad, debido a problemas de obsolescencia de hardware y software. Desde el 2022, el equipo de trabajo de este laboratorio, ha iniciado el desarrollo de un nuevo sistema integrado, totalmente modular, escrito en lenguaje actual, corriendo sobre hardware actual (con independencia de arquitectura) y con la posibilidad de actualizar/agregar nuevas funcionalidades con el paso del tiempo. La línea de manufactura cuenta con una cinta transportadora, un almacén y 4 estaciones de trabajo. Tanto el almacén como las estaciones de trabajo, cuentan cada una con un robot. El robot correspondiente al almacén, se encarga de buscar y colocar la materia prima que se le indique en la cinta transportadora. Los robots de cada estación de trabajo, se encargan de realizar las operaciones correspondientes a la estación. Cada robot es gestionado por su respectivo controlador y a su vez estos, junto al controlador de la cinta transportadora son gestionados por una única PC manager.

Detalle del trabajo realizado

En el presente trabajo se documenta el desarrollo de dos softwares, el *Editor de productos* y el *Simulador de tiempos de ejecución*. Estos softwares, son parte del proyecto de reacondicionamiento de la línea de manufactura robotizada del laboratorio CIM de la FI-UNLZ. En ambos programas, se utiliza el concepto matemático de grafo para definir las distintas etapas del proceso de armado de productos.

El *Editor de productos* cuenta con una interfaz gráfica que permite definir la estructura de los productos a manufacturar, describir las operaciones a realizar y especificar el orden en que deben realizarse en cada estación de la línea de producción.

El *Simulador de tiempos de ejecución* permite simular los tiempos requeridos para la búsqueda y traslado de materias primas y los tiempos demandados por las distintas operaciones de ensambles.

A modo de testeo de ambos, se desarrolló también un programa en ACL para la creación de un producto y se implementó en la línea de manufactura. Se realizó un estudio de tiempos de las distintas etapas y se realizó la simulación del proceso. Este caso de aplicación, se ideó como una actividad didáctica para los estudiantes que realicen prácticas en el laboratorio.

Marco teórico

Un producto, es la unión de un conjunto de elementos que se conectan entre sí en un orden determinado. Una línea de producción inicia con la búsqueda de materias primas y luego de que estas son sometidas a algún tipo de operación, se obtiene un subensamble (o subproducto). A su vez este, junto a otro subensamble o materias primas, puede ser sometidos a una nueva operación que resulte en un subensamble de orden superior, y así sucesivamente hasta obtener un producto final. Para productos medianamente complejos, que requieren de varias operaciones intermedias, se vuelve dificultoso comprender las dependencias entre materias primas, operaciones y subensambles. Se buscó entonces, una herramienta que permitiera representar de manera sencilla y visualmente estas relaciones. La herramienta que se seleccionó se denomina grafo.

Grafos

Los grafos son estructuras discretas formadas por un conjunto vértices (nodos) y un conjunto de aristas que conectan entre si esos vértices. Existen dos tipos básicos de grafos: grafos no dirigidos y grafos dirigidos. En los grafos no dirigidos, no es relevante definir el sentido de relación entre los nodos, por lo cual para representar gráficamente esta relación, se utilizan aristas. Por otra parte, en los grafos dirigidos o dígrafos, si es relevante definir el sentido de relación entre los nodos, es necesario definir el nodo origen y el nodo destino. Estas conexiones llamadas arcos se representan gráficamente con flechas.

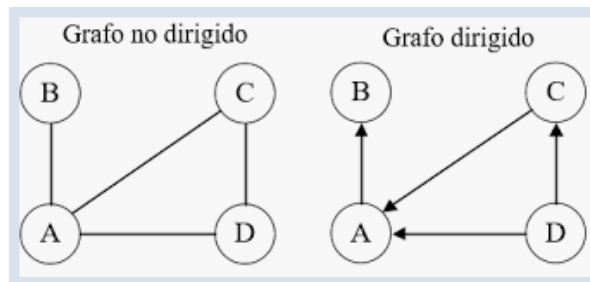


Fig.1: Grafos dirigidos y no dirigidos.

Existen múltiples maneras de definir un grafo, una de ellas es estableciendo las relaciones entre nodos a partir de pares ordenados. Por ejemplo, el grafo dirigido de la Fig.1, se define a través de sus arcos de la siguiente manera:

$$\text{Arcos} = \{(D, A); (D, C); (C, A); (A, B)\}$$

Según la notación utilizada, dado el arco (D, A) decimos que el vértice “D” es el origen y que el vértice “A” es el destino.

Dado que en un proceso de manufactura importa el orden en el que se realizan las operaciones con las que se obtienen los subproductos, se eligió para representar a los productos, grafos dirigidos. En estos, el nodo donde inicia el grafo representa el producto terminado y el resto de los nodos representan materias primas o los subproductos obtenidos luego de una operación.

Para un producto definido por las siguientes materias primas y operaciones:

$$\begin{aligned} \text{ProdE} = \{ & (\text{ProdA}, \text{SubP1_Atornillar}); (\text{SubP1_Atornillar}, \text{Tuerca}); \\ & (\text{SubP1_Atornillar}, \text{SubP2_Colocar}); (\text{SubP2_Colocar}, \text{Tornillo}); \\ & (\text{SubP2_Colocar}, \text{Arandela}) \} \end{aligned}$$

Su representación gráfica es:

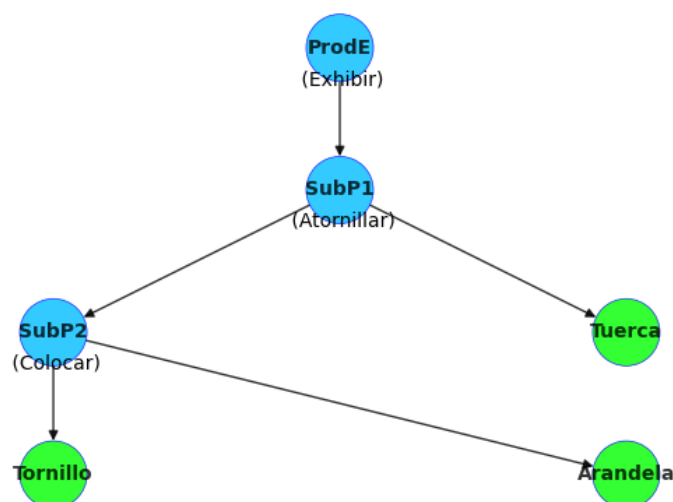


Fig.2: Grafo asociado al “Producto E”.

En la Fig.2, los nodos de color verde representan las materias primas y los nodos de color celeste representan los subproductos obtenidos luego de realizar la operación correspondiente. El nodo donde inicia el grafo representa el producto terminado.

Editor de productos y Simulador de tiempos de ejecución

Ambos programas fueron desarrollados con lenguaje Python, con paradigma orientado a objetos. Se usaron las librerías *Tkinter*, para desarrollar la interfaz gráfica y *nxnetwork* que facilitó la manipulación de los grafos. Ambos programas leen la información sobre los productos, de 3 archivos csv llamados “BD Grafos”, “BD Materias primas” y “BD Operaciones”. Estos archivos contienen la información actual de los productos y sobre estos mismos archivos; se reescribe la información que resulte de modificar un producto a través del editor.

BD Grafos

Contiene los nodos y los arcos correspondientes de cada nuevo producto y de los productos ya existentes. La notación utilizada para definir estos grafos, es la explicada previamente, definiendo los arcos de a pares de nodos pero sin ser separados por paréntesis.

```
Productos
ProdA,SubP1,SubP1,M_Prima_1,SubP1,M_Prima_2
ProdB,SubP4,SubP4,M_Prima_5,SubP4,M_Prima_6,SubP4,SubP2,SubP2,M_Prima_2,SubP2,M_Prima_3,SubP2,M_Prima_4
ProdC,SubP3,SubP3,SubP2,SubP3,SubP5,SubP2,M_Prima_3,SubP2,M_Prima_4,SubP5,M_Prima_1,SubP5,M_Prima_6
```

Fig.3: Información contenida en el archivo “BD Grafos.csv”

BD Materias primas

Contiene la información acerca de las materias primas: ubicación dentro del almacén y el tiempo que se requiere para ser llevada desde su correspondiente ubicación hacia el inicio de la cinta transportadora.

```
Nombre de la MP,Ubicación en almacen,Tiempo en buscar,
M_Prima_1,62,3,1
M_Prima_2,52,4,2
M_Prima_3,13,1,4
M_Prima_4,28,2,3
M_Prima_5,40,4,1
M_Prima_6,22,4,2
```

Fig.4: Información contenida en el archivo “BD Materias primas.csv”.

BD Operaciones

Contiene la información de todas las operaciones que se pueden realizar en la línea de manufactura: nombre, número de estación en donde se realiza, tiempo de operación y tiempo requerido por las materias primas para viajar desde el inicio de la cinta transportadora hasta la estación de trabajo correspondiente.

```

SubProducto,Operación,Nº Estación,Tiempo de procesado,Tiempo llegada estación
SubP1,Operacion_1,2,1,3
SubP2,Operacion_2,3,3,1
SubP3,Operacion_3,1,2,1
SubP4,Operacion_4,4,1,1
SubP5,Operacion_5,4,4,2

```

Fig.5: Información contenida en el archivo “BD Operaciones.csv”.

Editor de productos

Este programa permite visualizar y modificar el grafo asociado a un producto previamente creado. También permite crear el grafo de un producto nuevo utilizando las materias primas y operaciones previamente cargadas en los archivos csv. A través de su interfaz gráfica es posible: seleccionar un producto, insertar materias primas, insertar subproductos, crear nuevos productos, borrar nodos y guardar cambios.

Seleccionar productos

A través de un menú desplegable, permite elegir un producto previamente creado para poder modificarlo o simplemente visualizar su grafo asociado.

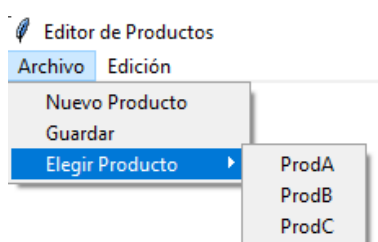


Fig.6: Procedimiento para seleccionar un producto.

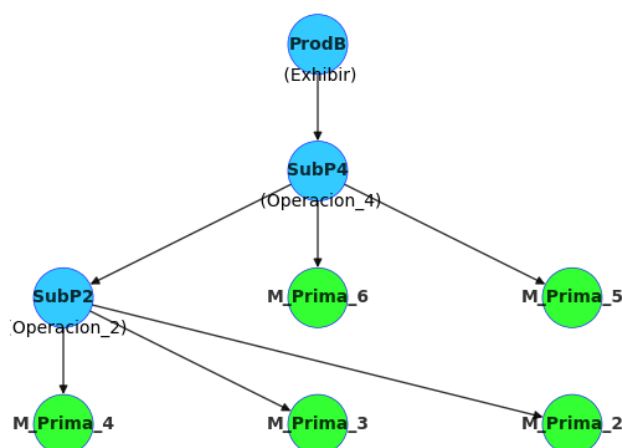


Fig.7: Esquema correspondiente al “Producto B” generado por el programa.

Insertar subproductos

Permite agregar a un grafo, un subproducto que es resultado de una operación entre una o más materias primas.

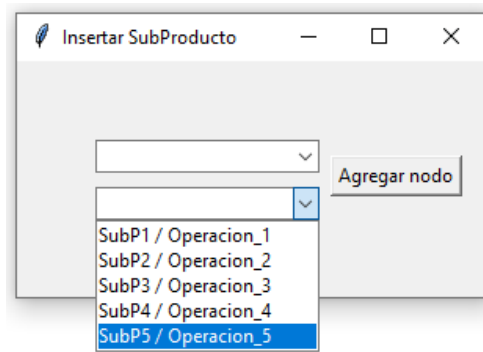


Fig.8: Procedimiento para insertar un subproducto en el grafo seleccionado.

Insertar materias primas

Permite agregar una materia prima a un subproducto previamente insertado.

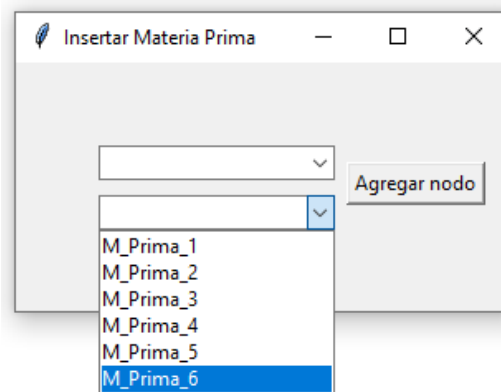


Fig.9: Procedimiento para insertar una materia prima en el grafo seleccionado.

Crear nuevos productos

Permite crear un nuevo producto insertando materias primas y operaciones definidas previamente, a través de los comandos *Insertar materia prima* e *Insertar subproducto*.

Borrar nodos

Permite borrar el nodo que se seleccione y toda la rama de nodos asociada a él.

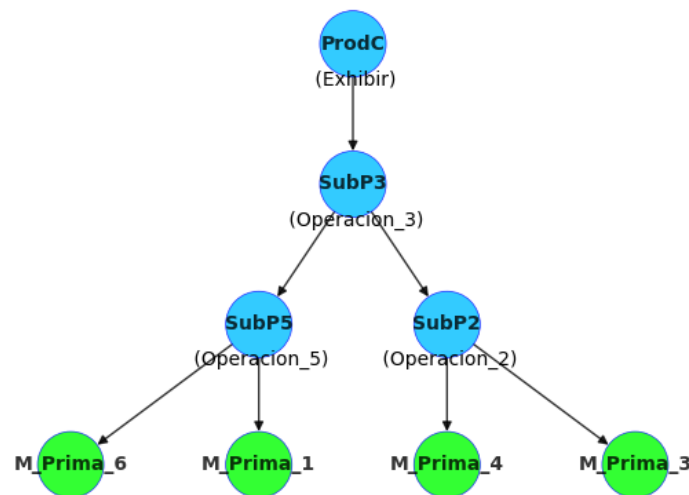
Guardar

Permite guardar un producto nuevo o guardar los cambios realizados a un producto ya existente.

Simulador de tiempos de ejecución

Permite simular el tiempo que demoraría la línea de manufactura en producir un determinado producto. En esta simulación se tiene en cuenta los tiempos de traslado de las materias primas y subproductos a las respectivas estaciones de trabajo y el tiempo que demora en realizarse cada operación.

En la siguiente imagen se muestra el resultado entregado por el simulador cuando se ejecuta el *Producto C*.



```
-----  
00:00 Envio la M_Prima_3 a la estación N°:3  
-----  
00:01 Envio la M_Prima_4 a la estación N°:3  
-----  
00:03 Realizo la Operacion_2 y envio el SubP2 a la estación N°:1  
-----  
00:06 Envio la M_Prima_1 a la estación N°:4  
-----  
00:09 Envio la M_Prima_6 a la estación N°:4  
-----  
  
-----  
00:13 Realizo la Operacion_5 y envio el SubP5 a la estación N°:1  
-----  
00:17 Realizo la Operacion_3 y envio el SubP3 a la estación N°:100  
-----  
00:19 Producto terminado  
-----
```

Fig. 10: Resultado entregado por el Simulador de tiempo de ejecución, cuando se ejecuta el "Producto C".

Actividad didáctica.

A modo de testeo de los softwares desarrollados y pensado como una actividad didáctica para estudiantes, se programó el CIM para el desarrollo de un nuevo producto. Los tiempos de la línea de procesos fueron medidos y cargados en el *Simulador de tiempos de ejecución*, de manera de poder comparar los tiempos del proceso real y el proceso simulado.

El producto que se eligió para ensamblar se denominó *PD002* y consta de una pequeña bolita metálica y de dos piezas de acrílico, una base de acrílico con una

cavidad y una tapa. El producto terminado debía ser tal que la bolita quedara dentro de la cavidad de la base y que la tapa se uniera a la base mediante pegamento formando una cavidad cerrada.

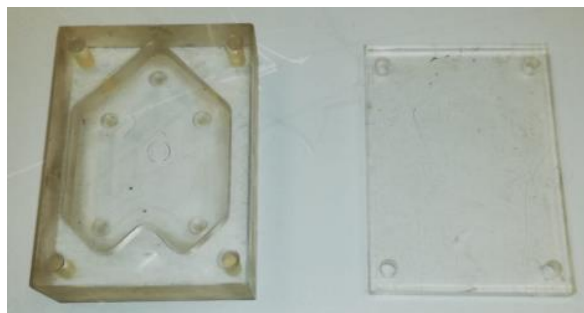


Fig.11: Materias primas del PD002 (base y tapa)

Los pasos a seguir para la obtención del producto PD002 son:

- El robot del almacén busca ambas piezas de acrílico y las coloca sobre la cinta transportadora.
- Las piezas de acrílico viajan desde el almacén hacia la estación de trabajo N°4, en donde se realizó el ensamble
- El robot Scara de la estación N°4 coloca la bolita dentro de la cavidad de la base, verifica que la bolita se encuentre dentro de la cavidad, aplica el pegamento sobre el perímetro de la misma, realiza una inspección de la distribución del pegamento, luego coloca la tapa y posiciona el producto terminado sobre la cinta transportadora
- La cinta transportadora lleva el producto terminado hacia el almacén.

Para definir el conjunto de instrucciones que permitiera al robot Scara el ensamble del PD002, se realizó ingeniería inversa de todas las rutinas del CIM original. Se identificaron las funcionalidades de cada una de ellas y se determinó el valor de los parámetros que requieren para ejecutarse. Definidas estas instrucciones, fueron cargadas. Se realizaron ensayos del ensamble del PD002 en el CIM y se realizó un estudio de tiempos de los diferentes estadios del proceso. Para facilitar el análisis, este estudio de tiempos se realizó con el CIM trabajando en el ensamble de un único producto, y no con la manufactura de varios productos en simultáneo. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Acciones	Tiempo (segundos)
El robot de almacén busca una materia prima y la coloca sobre la cinta transportadora	20
La cinta transportadora traslada una materia prima desde el almacén hasta la estación N°4	40
En la estación N°4 se realizan las operaciones de ensamble del producto	330
La cinta transportadora lleva el producto terminado desde la estación N°4 hasta el almacén	12

Los datos obtenidos en las mediciones fueron cargados en el *Simulador de tiempos de ejecución* y el resultado de la simulación fué el siguiente:

```
-----  
00:00 El robot de almacen busca la base y la coloca en la cinta transportadora  
-----  
00:20 La cinta transportadora traslada la base desde el almacen hasta la estación N°4  
-----  
01:00 El robot de almacen busca la tapa y la coloca en la cinta transportadora  
-----  
01:20 La cinta transportadora traslada la tapa desde el almacen hasta la estación N°4  
-----  
02:00 En la estación N°4 se realizan las operaciones de ensamble  
-----  
07:30 La cinta transportadora traslada el producto hacia el almacen  
-----  
07:42 Producto terminado
```

Fig.12: Resultado entregado por el Simulador de tiempos de ejecución, cuando se ejecuta el “PD002”.

Puede observarse que el software desarrollado posee la capacidad de describir cada paso del proceso, simulando en este caso con tiempos reales producto del estudio de tiempos.

Como resultado de esta Práctica Profesional Supervisada, se obtienen piezas de software que resultan centrales para el funcionamiento del CIM, dado que se dispone de:

- Una herramienta que permite gestionar cualquier proceso de la línea (quedando únicamente para resolver la conexión con el hardware)
- Un editor de productos, útil para agregar más definiciones de productos a la base de datos de manera sencilla.

Conclusiones

La representación gráfica de los productos mediante grafos permitió facilitar la visualización, modificación y creación de productos ya que resulta sencillo visualizar las dependencias entre los elementos, aún en productos complejos.

En cuanto al *Simulador de tiempos de ejecución*, ha resultado un método efectivo para conocer la incidencia de los tiempos de operaciones y de los tiempos de traslado de materias primas en el proceso de manufactura. En instancias posteriores a este trabajo, incorporando la comunicación entre este software y los controladores de cada estación de trabajo, este software permitirá de realizar la gestión de la línea de manufactura.

Resulta de interés para futuros trabajos, la incorporación de conceptos más complejos de teoría de grafos. Por ejemplo, algoritmos que permitan determinar el orden óptimo de ensamble para poder reducir los tiempos de producción. También, resultaría de interés utilizar algoritmos que permitan conocer el flujo máximo de materias primas que se pueden introducir en la línea de manufactura sin que se generen cuellos de botellas, para de esta manera aumentar la producción.

En cuanto a la actividad didáctica realizada, queda pendiente el análisis de tiempos de ejecución con el CIM procesando múltiples productos en paralelo.

Por otra parte, el desarrollo del presente trabajo permitió la aplicación de conocimientos propios de la carrera y la puesta en práctica de diversas competencias tales como:

- la aplicación de conocimientos de programación estudiados en la carrera
- la incorporación de nuevos conocimientos de programación que resultaron indispensables para la resolución del problema, tales como, manejo de archivos csv, programación orientada a objetos, desarrollo de interfaces gráficas y utilización de librerías para el manejo de grafos.
- la búsqueda de una herramienta matemática (en este caso los grafos) para describir y solucionar la problemática planteada.
- la investigación sobre el marco teórico de la herramienta matemática elegida y su implementación en la resolución de problemáticas similares.
- el desarrollo de softwares prácticos e intuitivos.

