

Análisis y operación del tren de producción de una celda de manufactura controlada por OpenCIM Manager

Analysis and operation of the production train of a manufacturing cell controlled by OpenCIM Manager

Isaías Simón Marmolejo ^a, René Cruz Guerrero ^b, Isidro J. González Hernández ^c

Abstract:

The manufacturing cell of the Autonomous University of the State of Hidalgo is used as a case study to create an understanding model that operates and controls it through the OpenCIM Manager system, the intention is to study the method, techniques and tools necessary to understand operate the cell from the Industrial Engineering paradigm, in addition to identifying the knowledge needs necessary to describe the real-time behavior of the system seen as a real production unit. The OpenCIM Manager system allows the immediate integration of equipment, raw materials and products as a master production plan in a completely industrial context, in addition to allowing full control of the parameters of the production system at all times. The results show how by making use of a basic logical sequence of operations, and industrial engineering tools, it is possible to gain understanding for the control of a computer-integrated manufacturing system.

Keywords:

Production systems, automation, computer integrated manufacturing system

Resumen:

La celda de manufactura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo es usada como caso de estudio para crear un modelo de entendimiento que opere y controle la misma mediante el sistema OpenCIM Manager, la intención es estudiar el método, técnicas y herramientas necesarias para comprender la operación de la celda desde el paradigma de ingeniería industrial, además de identificar las necesidades de conocimiento necesario para describir el comportamiento en tiempo real del sistema visto como una unidad de producción real. El sistema OpenCIM Manager permite la inmediata integración de equipos, materias primas y productos como un plan maestro de producción en un contexto totalmente industrial, además de permitir en todo momento el control total de los parámetros del sistema de producción. Los resultados muestran como al hacer uso de una secuencia lógica básica de operaciones, y herramientas de ingeniería industrial, es posible ganar entendimiento para el control de un sistema de manufactura integrada por computadora.

Palabras Clave:

Sistemas de producción, automatización, sistema de manufactura integrada por computadora

Introducción

El conocimiento evoluciona a razón del dominio de los fundamentos teóricos y la práctica constante. En tal sentido, se entiende como teoría: “la exposición

puramente especulativa de una ciencia” mientras que la práctica se entiende como: “la realización de actividades orientadas a adquirir destrezas” (Bulla, Giraldo y Manrique, 2007, como se citó en Zuluaga-Ramírez y Aguirre-Henao, 2014) Así, la práctica es el conocimiento

^a Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-2116-6192>, Email: isaiasm@uaeh.edu.mx

^b Instituto Tecnológico Superior de Oriente del Estado de Hidalgo | Apan-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-1276-2419>, Email: rcruz@itesa.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-2805-6674>, Email: igonzaalez@uaeh.edu.mx

en acción, sin embargo, no hay observación científica sin teoría previa (Rojas, 2011).

En un intento por romper la brecha entre la teoría y la práctica y así movilizar el conocimiento del alumnado del programa educativo de ingeniería industrial, la Escuela Superior de Ciudad Sahagún de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), promueve la generación de espacios capaces de contribuir en el dominio conceptual de un sistema de Manufactura Integrada por Computadora (CIM, por sus siglas en inglés) mediante pruebas y experimentos, cuyas ideas generadas por medio de la reflexión contribuyen al proceso de enseñanza-aprendizaje.

En tal sentido, el resto del documento está organizado de la siguiente manera. En la segunda sección, se analizan documentos relevantes y el estado de las tecnologías respectiva, la tercera sección presenta un caso de estudio singular y la cuarta sección nuestra las conclusiones, respectivamente.

Conceptos y estado de la tecnología

Un sistema de manufactura es considerado como un conjunto de recursos utilizados para transformar materia prima en productos terminados con el fin de satisfacer una demanda. De manera sistemática, la referencia (Blanch et al., 2008) menciona que actualmente es habitual estructurar este sistema en tres subsistemas: físico, informativo y de toma de decisiones, a los cuales el autor se refiere como:

Subsistema físico. Se compone por un conjunto de dispositivos físicos: máquinas, robots, dispositivos de transporte y mano de obra. La transformación de la materia prima (MP) en productos terminados (PT) es el resultado de sucesivas transformaciones de componentes individuales o múltiples en los elementos por medio de las operaciones realizadas por los dispositivos físicos del sistema. Estos dispositivos pueden realizar tres tipos de transformaciones: espacial (transporte), temporal (inventarios) o física.

Las transformaciones físicas son realizadas por equipos, robots o mano de obra. Consisten en la transformación de los objetos o material físico. Se consideran tres tipos de transformaciones: (componentes) que se fusionan en un ensamble, desensamble (dividir un elemento, como por el proceso de corte) y la transformación de MP (modificación simple de un solo elemento, al igual que en el proceso de fresado o torneado).

Subsistema informativo. Recoge toda la información existente en el sistema de manufactura, ya sea estática, como listas de materiales, enrutamiento de manufactura, duración de la operación estándar, o dinámica tales como el estado actual de los recursos y la ubicación de un ítem o producto.

Subsistema decisional. Realiza la gestión del funcionamiento de todo el sistema de fabricación. Este subsistema es el encargado de la fijación y la puesta en práctica de tácticas para producir con calidad el artículo correcto en el momento adecuado, de una manera racional. En otras palabras, los conjuntos de subsistemas de toma de decisiones reciben órdenes para programar la ejecución de las operaciones, que cumplen las restricciones como la disponibilidad de componentes o dispositivos físicos, reduciendo al mínimo la tardanza de una buena producción terminada y maximizar el uso de material y/o recursos.

El subsistema decisional (sistema de control) se considera como una composición de un sistema de gestión de alto nivel o Planeación de Recursos Empresariales (Enterprise Resource Planning, ERP) y un sistema de control de bajo nivel o Sistema de Ejecución de Manufactura (Manufacturing Execution System, MES). El ERP, gestiona las funciones comunes genéricas como las de recepción, inventario, facturación, envío, contabilidad, lista de materiales y la fabricación de enrutamiento. A MES, se le define como un sistema que asegura el control de los procesos de manera que sea interconectada e interactúe correctamente el subsistema físico con el subsistema de toma de decisiones de alto nivel o ERP (Baña, 2006). MES se encarga de la programación detallada de las actividades en el sistema de manufactura, el lanzamiento de los pedidos, la respuesta a sucesos aleatorios, los ajustes de los planes y el seguimiento de las actividades. Actividades de mantenimiento como tareas preventivas o el suministro de dispositivos para que los recursos puedan completar una operación dependiendo del modelo del producto.

Por otro lado, CIM, es una filosofía y estrategia de producción, caracterizada por integrar toda la información de las distintas áreas de una empresa a través de sistemas informáticos y la utilización de equipos electrónicos para el control, supervisión y gestión de los procesos. El término CIM, ha sido acuñado para denotar el uso de las computadoras en el diseño de los productos, el planeamiento de la producción, control de operaciones y asegurar el cumplimiento de todas las funciones del negocio requeridas en una fábrica, esto incluye todas las actividades que se realizan para la fabricación de un producto, desde la percepción de la necesidad, la

concepción, el diseño y su desarrollo, pasando por su producción, marketing y soporte del producto en uso (Romero et al., 2012). En resumen, la CIM es un método de manufactura en el que el proceso de producción completo es controlado por computadoras (Puga et al., 2010).

En otro orden de ideas, un Sistema de Celda de Manufactura (CMS, por sus siglas en inglés) es un sistema de producción eficaz en una empresa moderna para un entorno de producción por lotes flexible. Combina la flexibilidad de un taller al mismo tiempo que proporciona la eficiencia que ofrece el flujo de un taller (Yazhi et al., 2015). En Neufeld et al., 2019, se dice que un CMS se caracteriza por una segmentación de los recursos de fabricación en organizaciones más pequeñas o unidades llamadas celdas de fabricación, cada una de las cuales produce de forma independiente un determinado conjunto de productos denominados familias parciales o tecnología de grupos (group technology, GT). Estas familias de piezas suelen formarse según las operaciones, máquinas y utillajes requeridos. Así, una celda de manufactura está constituida por un grupo independiente de máquinas distintas, que se sitúan juntas en un espacio determinado de la planta, y que están dedicadas a fabricar grupos de productos similares, cuya similitud puede estar dada por su diseño o por sus procesos de producción (Ham et al., 1985; Irani, 1999, como se citó en Cáceres, 2021).

Entre los beneficios de los CMS se encuentran: reducir el número de configuraciones, reducción de tiempos de preparación y costos de manejo de materiales, disminuir el trabajo en los inventarios de proceso y los tiempos de entrega, mejorar la utilización del espacio, mejor calidad y planificación y control de producción simplificados, los mismos también proporciona una infraestructura de producción que facilita el entendimiento e implementación exitosa de tecnologías de fabricación modernas, como la fabricación justo a tiempo (just-in-time), sistemas de manufactura flexible, fabricación integrada por computadora, etc. (Kamran, Fatemi, 2020; Venkata, 2012). En este contexto, Venkata (2012) afirma que hay muchos problemas en la programación de un CMS para lograr los beneficios necesarios en la implementación efectiva de sus sistemas de programación, cuya solución a esto último radica en una programación de grupo (Flow Shop) de la celda de manufactura, donde cada familia de piezas se puede procesar en una celda duplicando en ocasiones el uso de las máquinas generando cuellos de botella o solicitando piezas excepcionales, disminuyendo la practicidad del sistema.

Metodología de investigación

Para el caso de estudio, se hace uso de la metodología de investigación propuesta por Reza (2013), misma que se subdivide en tres partes tal como se puede ver en la Figura 1. El modelo propuesto hace uso del sistema de control OpenCIM Manager, sin embargo, para su entendimiento el diagrama de procesos se emplea como un lenguaje de modelado gráfico, que permite visualizar los procesos relevantes de las operaciones secuenciadas. Entre la “Fase del caso de estudio y definición del problema” y la “Fase de diseño y desarrollo” se puntualiza la razón y los detalles de la investigación, aquí mismo, existe un bloque de “Verificación” usado como feedback del sistema. La “Fase de implementación” propone una arquitectura de aplicación para el caso de dos productos.

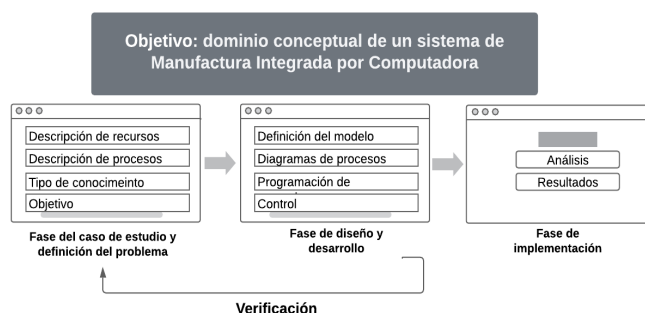


Figure 1. Metodología de investigación. Fuente: Elaboración propia.

Caso de estudio

A lo dicho, la presente investigación tiene el objetivo de identificar y definir los roles y comportamientos de los elementos de control de la producción de una celda de manufactura. La finalidad es tener un modelo que dé como resultado futuro la implementación de un MES, el cual pueda ser integrado dentro de la administración de un sistema de manufactura para controlar una configuración de producción con robots y máquinas numéricas flexibles.

El CIM a modelar se muestra en la Figura 2, en donde se identifican las celdas de interés para este trabajo:

Celda de manufactura

La celda de manufactura propiedad de la UAEH es vista como un Sistema de Manufactura Flexible (FMS, por sus siglas en inglés) que opera bajo el esquema Job Shop y no necesariamente como tipo Flow Shop, misma donde una banda transportadora interconecta a tres diferentes estaciones de trabajo, y es operada con un software de control de nombre OpenCIM Manager (véanse las Figuras 2 y 3).



Figure 2. Celda de Manufactura UAEH. Fuente: Elaboración propia.

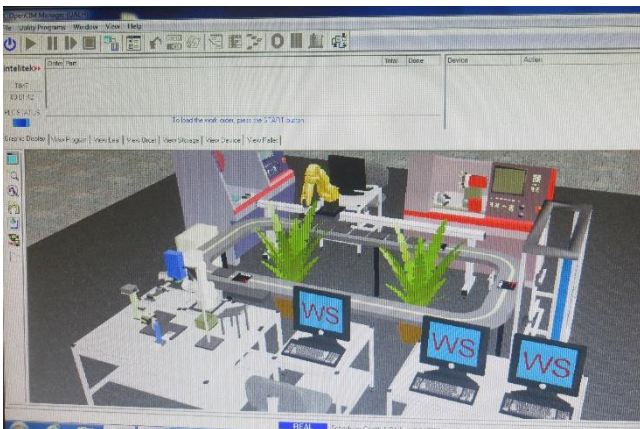


Figure 3. Software de control OpenCIM Manager. Fuente: Elaboración propia.

En este mismo sistema, existen tres estaciones de trabajo:

Estación 1 (almacén): Se constituye por un almacén automático de 36 posiciones (ASRS) INTELITEK ASRS36u y es operado por un robot (36ASRS1).

Estación 2 (maquinados): Es un FMS equipado con un torno (CNC, Control Numérico por Computadora) DOOSAN LYNX220, una fresadora (CNC) SUNMILL JHV550 y un robot de 6 grados de libertad FANUC LR Mate 200id.

Estación 3 (ensamble e inspección): Cuenta con un robot de 6 grados de libertad MOTOMAN MH6-10, una estación de control de calidad con sistema de visión VIEW FLEX y una mesa para ensamble con dispositivos de suministro y sujeción.

Más detalles y especificaciones técnicas respectivas a la celda de manufactura pueden consultarse en el Manual de Prácticas de Control Numérico (UAEH, 2018).

Operación:

En un sistema Job Shop existen n trabajos y cada trabajo visita m número de máquinas siguiendo una ruta predeterminada, dependiendo del modelo de cada trabajo, éste podría visitar una misma máquina en una o más ocasiones, por lo que el sistema Job Shop es sujeto a la recirculación de trabajos (Pinedo M. L., 2009).

El sistema Job Shop flexible (celda de manufactura UAEH) que sirve como modelo real en la presente investigación, consta de un conjunto de tres estaciones de trabajo y cada estación de trabajo se compone de una serie de m máquinas o robots. Cada trabajo n tiene una ruta predeterminada de visitas a un número de estaciones de trabajo donde puede ser procesada en alguna de las máquinas que componen dicha estación visitada. De esta manera, cuando es solicitada una orden de producción, esta es programada en el software de operación y control OpenCIM Manager, de manera que cada una de las estaciones de la celda estén enteradas de las tareas y roles que se deberán desempeñar para efectuar la orden de producción. Así cada máquina es responsable de la realización de las operaciones de manufactura para cada trabajo solicitado.

Datos relevantes a los productos:

Cliente y orden del cliente

En un inicio, el administrador de la celda de manufactura interactúa con el sistema de control OpenCIM Manager para definir a un cliente (Customer) agregándole alguno de los productos ofertados por el sistema (Product), una cantidad de unidades requeridas (Units Per Product), un valor de prioridad (Priority) y la fecha de entrega (Due Date). Esta asociación de datos a una serie de productos es llamada orden del cliente (Customer Order) la cual incluye la referencia hacia un producto, su cantidad, prioridad y fecha de entrega.

Productos

Los productos son descritos por las especificaciones del modelo (ModelSpecification) y por las especificaciones del proceso (ProcessSpecification).

- Las ModelSpecification, contienen todas las propiedades de cada modelo específico (ModelProperties), como; datos técnicos y características estructurales. Los datos técnicos incluyen la forma geométrica (Computer-aided Design, CAD) e imágenes (Pictures) del producto, y las características estructurales de cada producto incluyen materia prima (RawMaterial) y subproductos (Sub-assemblies) con sus partes de ensamble o componentes (Components) que lo constituyen. Dichas

especificaciones marcan la diferencia entre los distintos tipos de productos, por lo tanto estas especificaciones incluidas en cada modelo delimitan los requerimientos de calidad.

- Las ProcessSpecification permiten identificar el trato que se le dará en cada estación de trabajo a la MP o los componente de cada producto (esamble o manufactura), esto ultimo da origen al plan de procesos.

Las condiciones aquí descritas son indispensables si lo que se busca es que un producto sea manufacturado (Manufactured) y finalmente definido como producto terminado (Finished Goods).

Diseño y desarrollo

A manera de ejemplo, la orden de un cliente es conformada por un grupos de dos productos diferentes de nombre: Producto 1 (T1) y Producto 2 (T2). Vease la Figura 4.



Figure 4. Orden de un cliente de dos productos diferentes. Fuente: Elaboración propia.

El producto 1 es un sub-ensamble por lo que hace necesario un grupo de componentes (BASE, BALINES y TAPA), y los dos siguientes usan MP para ser manufacturados (ACRÍLICO y CILINDRO) y entregados como productos terminados (PT).

Suministros

La MP (BASE y TAPA) se estiba en el almacén automático (ASRS1), el cual mediante un componente automático suministra a los mismos siempre que se requieran. En el tema del ensamble también es necesario el uso de BALINES y PEGAMENTO suficiente para cada producto.

Operaciones

Como se dijo anteriormente, las especificaciones del proceso describen el plan de procesos (ProcessPlan), que

es una lista de operaciones necesarias para producir un producto (por ejemplo: maquinados, ensambles o sub-ensambles, manipulación, transporte, mantenimiento o inspección) de entre una serie de tiempos de operación posibles. Así bien, una operación (Operation) es un trabajo que debe ser ejecutado en un orden específico con el fin de producir el producto y es caracterizada por un conjunto de información como: tiempo estimado de procesamiento (EstimatedProcessingTime), descripción (Description), precedencia (Precedence) y requisitos técnicos (TechnicalRequirements).

Para ilustrar como es que cada producto sigue una ruta de producción previamente definida y la secuencia de operaciones necesarias para cada tipo de trabajo, las Figura 5 y 6 muestran la gráfica de procesos del producto T2 y el diagrama de proceso-ensamble del producto T1, respectivamente.

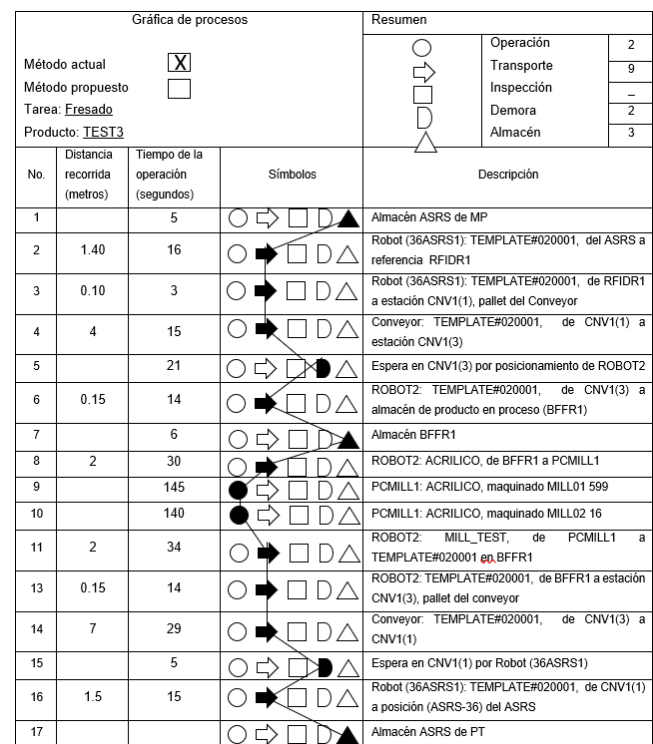


Figure 5. Gráfica de procesos del producto T2. Fuente: Elaboración propia.

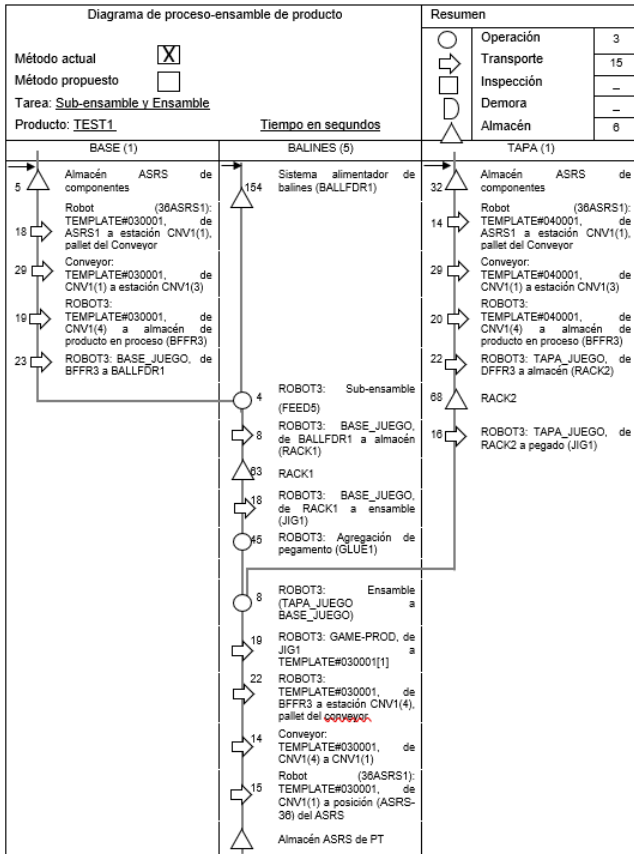


Figure 6. Diagrama de proceso-ensamble del producto T1. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, para realizar un trabajo es necesaria una secuencia de operaciones de manufactura con restricciones temporales en cuanto a la prioridad de ejecución. Así también se observa que una operación es una acción ejecutada por maquinas o recursos responsables de cada acción como el fresado, torneado o la manipulación para el transporte de componentes por los robots, entre otros. Por ejemplo, en la segunda columna de la Figura 5 la operación “TEMPLATE#020001 on RFIDR” indica al robot 36ASRS1 transportar el TEMPLATE#020001 de una referencia específica del almacén hasta una posición dada por el recurso RFIDR1. Seguido a esto la operación “TEMPLATE#020001 on CNV1(1)” implica colocar el template que contiene un acrílico dentro de un pallet ubicado en la posición CNV1(1) perteneciente al Conveyor. Después del transporte del template hasta un nodo específico del Conveyor (CNV1(3)), el robot (FANUC) toma el template “ROBOT2 TEMPLATE on BFFR1” y lo coloca en un almacén de producto en proceso (BFFR1). Del almacén de producto en proceso el robot (FANUC) toma un template disponible “PLACE ACRILICO on PCMILL1” y carga con el acrílico a la fresadora (PCMILL1) para ejecutar un maquinado. La fresadora ejecuta el maquinado (599) “MILL01 ACRILICO

PCMILL1 599” y entrega un producto terminado. Esta sería de operaciones son parte del plan de procesos para el fresado del producto T3.

De igual modo, las gráficas y diagrama antes mostrados indican los diferentes tiempos (segundos) y distancias (metros) en las distintas operaciones tanto de transporte, manipulación, maquinado, demora o almacenamiento. Los datos son necesario a la hora de estimar los tiempos de producción.

Plan de producción

El administrador del sistema control *OpenCIM Manager*, crea un plan de producción (ProductionPlan) al tomar una o varias órdenes de clientes y convertirlas en órdenes de manufactura (ManufacturingOrder). Una orden de manufactura es indexada a un objeto producto y comprende una lista de órdenes de trabajo. Una orden de trabajo (WorkOrder) es la descripción de una operación (o trabajo) y por lo tanto es parte de un plan de proceso. Las órdenes de trabajo están destinadas a ser ejecutadas por recursos (Resource) tales como fresadoras, tornos, robots, transportadores, entre otros. Cada recurso es una entidad que puede ejecutar una determinada gama de trabajos (ProcessCapability), siempre y cuando esté disponible (Available), cuente con lo necesarios (por ejemplo: Supplies, Tools o Devices) y no se exceda su capacidad (Capacity).

La Tabla 1 da ejemplos de máquinas o dispositivos necesarios en el procesamiento de las operaciones solicitadas por los diferentes productos.

Tabla 1. Máquinas, dispositivos y procesos. Fuente: Elaboración propia.

No.	Nombre de la máquina	Nombre del proceso	Tipo del proceso	Nombre del archivo o programa	Descripción
1	RFIDR1	READID	QC	RFID1	Lector de referencia ID de la parte
2	PCMILL1	MILL01	CNC	599	Maquinado 599 en fresadora
3	PCMILL1	MILL02	CNC	16	Maquinado 16 en fresadora
4	PCTURN1	TURN01	CNC	598 SET FLIPNEEDED=1	Maquinado 598 en torno
5	PCTURN1	TURN02 SIN FLIP	CNC	16 SET FLIPNEEDED=0	Maquinado 16 en torno
6	PCTURN1	TORNEADO1	CNC	402 SET FLIPNEEDED=0	Maquinado 402 en torno
7	BALLFDR1	FEED5	PROCESS	FEED5	Sub-ensamble o agregación de balines
8	JIG1	ASSEMBLE	ASSEMBLE	ASSEMBLE	Area de ensamble de BASE_JUEGO con TAPA_JUEGO
9	GLUE1	GLUE	PROCESS	FIX	Agregación de pegamento

Programación

Es la asignación de tareas a los recursos y la definición de fechas para la ejecución de estas tareas (Carlier y Chretienne, 1988, como se citó en Mesghouni et al., 2004). La programación se puede realizar con un propósito hacia el futuro, con el fin de planificar las actividades de los recursos y para anticipar la realización de las tareas. La programación también puede ser puramente reactiva. En este caso, la asignación de tareas

se realiza de forma dinámica y no se propone ninguna planificación. Un enfoque híbrido también es posible, por tanto, una planificación puede llevarse a cabo y altera dinámicamente con el fin de responder a una perturbación, que puede ser un cambio intencional en el medio ambiente o un evento aleatorio, tal como una avería de la máquina o una pérdida de producto. La solución de un problema de programación tiene como objetivo minimizar o maximizar uno o más criterios, respetando una serie de restricciones. Una solución a un problema de programación puede estar representado por un diagrama de Gantt. Una solución posible es una programación, que respeta el conjunto de restricciones. Se rige bajo restricciones y para resolver el problema se usan PriorityRules, que permiten proponer rápidamente solución no óptima.

Control

En la tesis Simón 2017, se sustenta que las principales funciones que un Sistema de Control de la Producción (SCP) cumple son: la planificación de procesos, planificación de la asignación de recursos (scheduling), la ejecución del plan, y la manipulación de estado patológico. A nivel de planificación de procesos, el SCP lanza las órdenes de producción a la planta junto con un plan de trabajo. Este último proporciona la secuencia necesaria de operaciones y el tipo de maquinado necesario para cada operación. Sobre la base de los recursos disponibles, es posible crear secuencias de proceso alternativos (con el objetivo de lograr flexibilidad), cada uno de ellos indican el recurso exacto necesario para ejecutar cada operación.

A través de la planificación de la asignación de recursos, el SCP programa las operaciones necesarias para producir las partes (incluyendo el procesamiento, transporte, mantenimiento y operaciones de configuración), teniendo en cuenta los planes de proceso, las limitaciones y capacidad de los recursos. La Figura 7 muestra un ejemplo del último punto mencionado.

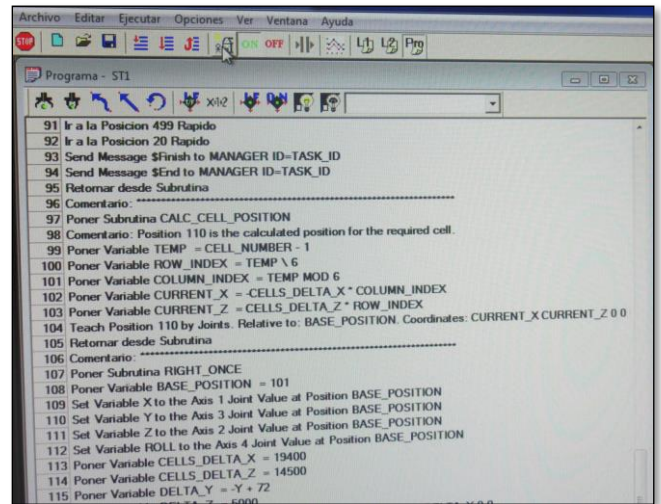


Figure 7. Programación para el control de operaciones. Fuente: Elaboración propia.

Al mismo tiempo, en el SCP se consideran posibles reconfiguraciones de la unidad de producción (comúnmente en la variabilidad al momento de asignar recursos a las tareas) cuando la celda de manufactura presenta cambios en la demanda, faltante de materias primas o materiales, o bien cuando algún equipo falla repentinamente.

En sí, la función del plan de ejecución del mismo sistema busca ejecutar físicamente las ordenes de programación en los equipos de la celda de manufactura, de esta manera, las órdenes programadas se mandan a la celda de manufactura, donde se encuentran todos los recursos necesarios para la operación, como son robots, banda transportadora, torno, fresadora, almacén, entre otros, y finalmente se crea una rutina en el seguimiento del progreso de la producción.

En resumen, la presente investigación usa los conceptos de una celda de manufactura, donde un grupo de recursos es empleado en la transformación de materia prima en productos terminados con el fin de atender las ordenas dadas en un ciclo de producción. El software *OpenCIM Manager* proporciona seguimiento y rastreo desde el contenido de del ASRS, mismo que permite el control en tiempo real de los inventarios, y controla las operaciones de almacenaje y recuperación de la unidad de almacenaje, hasta cada uno de los recursos disponibles en la celda de manufactura, lo que hace localizable cada etapa del proceso.

El sistema *OpenCIM Manager* además, permite el uso de lenguajes de programación potentes, herramientas de desarrollo de interfaz de usuario, macros en tiempo real y

permite la funcionalidad completa de una PC, siempre que sea compatible con Automotive HMI.

Conclusión

Programar y ejecutar un sistema de este tipo para la producción industrial sigue siendo un proceso difícil y costoso, en una celda de manufactura universitaria pareciera fácil, sin embargo, al momento de su operación, un ingeniero industrial requiere de habilidades de codificación avanzada para crear un modelo apropiado para propósitos de producción en masa, a ello, el estudio muestra que las herramientas comunes de ingeniería industrial carecen de temas importante como la programación, control y automatización, sistemas electrónicos y lo concerniente a mecanismos inteligentes.

En un intento por ganar mayor conocimiento al respecto, se programa futuras prácticas enfocadas más al control de operaciones tipo MES que al entendimiento del tren de producción.

Referencias

- Bañina S., Morel G. (2006). *Product centric holons for synchronisation and interoperability in manufacturing environments*. IFAC Proceeding Volumes, vol. 39, no. 3, pp. 573–578.
- Blanch P., Demongodinb I., Castagna P. (2008). *A holonic approach for manufacturing execution system design: An industrial application*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 21, pp. 315–330.
- Cáceres S. E. (2021). *Modelo para la programación de la producción en enfoques de celdas de manufactura, integrando el diseño de plantas esbeltas, para el caso del sector de la confección de prendas de vestir*. Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería de la Organización Medellín, Colombia, pp. 15.
- Kamran F., Fatemi G. (2020). *Joint cell formation, cell scheduling, and group layout problem in virtual and classical cellular manufacturing systems*. Applied Soft Computing Journal, vol. 97, p. B, pp. 1–17.
- Mesghouni K., Hammadi S. y Borne P. (2004). *Evolutionary algorithms for job-shop scheduling*. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, vol. 14, no. 1, pp. 91–103.
- Neufeld J. S., Teucher F. F., Buscher U. (2019). *Scheduling flowline manufacturing cells with intercelular moves: non-permutation schedules and material flows in the cell scheduling problem*. International Journal of Production Research, pp. 1–16.
- Pinedo M. L. (2009). *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. Springer New York 2009, Second Edition, pp. 83–111.
- Puga. E. S., Foyo S. A., Peñaloza O. (2010). *Modelado de una Celda de Manufactura Integrada por Computadora*. Conciencia Tecnológica, no. 39, pp. 23–30.
- Reza V. B. (2013). *Towards a Capability-Based Decision Support System for a Manufacturing Shop*. IFIP International Federation for Information Processing, IFIP AICT 408, pp. 220–227.
- Rojas I. R. (2011). *Elementos para el diseño de técnicas de investigación: una propuesta de definiciones y procedimientos en la investigación científica*. Tiempo de educar, vol. 12, no. 24, pp. 277–297.
- Romero D. C., Anzola N. L. (2012). *Manufactura integrada por computadora CIM*. Corporación Universitaria Minuto de Dios, pp. 1–26.
- Simón I. (2017). *Modelo de Conocimiento en Sistemas de Manufactura Empleando el Paradigma Holónico*. CIATEQ, pp. 1–109. <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/105/1/SimonMarmolejoIsaias%20DMANAV%202017%20PARA%20RN.pdf>
- UAEH (2018). *Manual de Prácticas de: Control Numérico*. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de: Ingeniería y Arquitectura, revisión 10 de diciembre del 2018, pp 1–67. <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/19371/mp-control-numerico-jd2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Venkata C. P. (2012). *Scheduling in Cellular Manufacturing Systems*. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis, SC, Brasil, vol. 4, no. 7, pp. 231–243.
- Yazhi L., Xiaoping L., Jatinder N.D. (2014). *Solving the multi-objective flowline manufacturing cell scheduling problem by hybrid harmony search*. Expert Systems with Applications, vol. 42, no. 3, pp. 1409–1417.
- Zuluaga-Ramírez C. M., Aguirre-Henao A. M. (2014). *Actividades prácticas del grupo GEIO automatizadas en la Celda de Manufactura Flexible*. Ingeniería y Tecnología, Unilibre Cali, vol. 10, no. 3, pp. 340–352.